



CSBC

XXXVII Congresso da Sociedade Brasileira de Computação
Computação para tudo e todos

São Paulo, SP

Anais

Realizado por:



Organizado por:



Organizadores

Luciano Silva
Maria Amelia Eliseo
Nizam Omar

São Paulo, 2017



© Sociedade Brasileira de Computação, 2017 - Todos os direitos reservados

DESIGN GRÁFICO [DIAGRAMAÇÃO]: Gustavo Rorato Gentil;

REVISÃO DE TEXTO: dos autores;

Organização dos Anais: Luciano Silva, Maria Amelia Eliseo e Nizam Omar.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

S678 Sociedade Brasileira de Computação. Congresso. (37. : 2017 : São Paulo, SP)

Anais do XXXVII congresso da sociedade brasileira de computação :
#ComputaçãoParaTudoeParaTod*s [recurso eletrônico] / organizadores: Luciano
Silva, Maria Amelia Eliseo, Nizam Omar. – Dados eletrônicos. – São Paulo :
Sociedade Brasileira de Computação, 2017.

Modo de acesso: <http://www.sbc.org.br/csbc2017/>

ISSN: 2175-2761

1. Informática – Congressos. I. Silva, Luciano. II. Eliseo, Maria Amelia. III.
Omar, Nizam.

CDD 24. ed. 004.06081

Diretoria da Sociedade Brasileira de Computação (SBC)

Presidente

Lisandro Zambenedetti Granville (UFRGS)

Vice-Presidente

Thais Vasconcelos Batista (UFRN)

Diretora Administrativa

Renata de Matos Galante (UFRGS)

Diretor de Finanças

Carlos André Guimarães Ferraz (UFPE)

Diretor de Eventos e Comissões Especiais

Antônio Jorge Gomes Abelém (UFPA)

Diretor de Educação

Avelino Francisco Zorzo (PUCRS)

Diretor de Publicações

José Viterbo Filho (UFF)

Diretora de Planejamento e Programas Especiais

Claudia Lage Rebello da Motta (UFRJ)

Diretor de Secretarias Regionais

Marcelo Duduchi Feitosa (CEETEPS)

Diretora de Divulgação e Marketing

Eliana Almeida (UFAL)

Diretor de Relações Profissionais

Roberto da Silva Bigonha (UFMG)

Diretor de Competições Científicas

Ricardo de Oliveira Anido (UNICAMP)

Diretor de Cooperação com Sociedades Científicas

Raimundo José de Araújo Macêdo (UFBA)

Diretor de Articulação com Empresas

Sergio Soares (UFPE)

Comitê de Organização

Coordenação Geral do CSBC 2017

Nizam Omar (Mackenzie), Luciano Silva (Mackenzie)

Equipe Organizadora

Beatriz de Almeida Pacheco (Mackenzie), Calebe de Paula Biachini (Mackenzie), Fábio Silva Lopes (Mackenzie), Ilana de Almeida Concílio (Mackenzie), Ismar Frango Silveira (Mackenzie), Leandro Augusto da Silva (Mackenzie), Leandro Nunes de Castro (Mackenzie), Maria Amelia Eliseo (Mackenzie), Pedro Henrique Cacique Braga (Mackenzie), Pollyana Notargiacomo (Mackenzie), Takato Kurihara (Mackenzie), Valeria Farinazzo (Mackenzie), Vivaldo José Breternitz (Mackenzie)

Coordenação dos Eventos

2° Cloudscape - Cloudscape Brazil:
Geral: Priscila Solis (UNB) - Local:
Calebe de Paula Biachini (Mackenzie)

2° ETC - Encontro de Teoria da Computação: Geral: Cláudia Linhares Sales (UFC), Rosiane de Freitas (UFAM) - Local: Pedro P. B. de Oliveira (Universidade Presbiteriana Mackenzie)

2° WCN - Workshop on Cloud Networks: Geral: Wagner Meira Jr. (DCC/UFMG), Priscila Solis (UnB), Marco Vieira (UC) - Local: Calebe de Paula Bianchini (Mackenzie)

2° Workshop do testbed FIBRE: usando testbeds de Internet do Futuro para aprendizado de Redes de Computadores: Geral: Iara Machado (RNP) - Local: Dirceu Matheus Junior (Mackenzie)

4° ENCompIF - Encontro Nacional de Computação dos Institutos Federais:
Geral: Carlos Roberto de Oliveira Junior (IFRJ) - Local: Takato Kurihara (Mackenzie)

4° WPIETFIRTF - Workshop Pré-IETF-IRTF: Geral: Alvaro Retana (Cisco - BR), Christian O'Flaherty (Internet Society - UY), Julião Braga (Mackenzie - BR), Leandro Melo de Sales (UFAL - BR), Lisandro Zambenedetti Granville (UFRGS - BR) - Local: Dirceu Matheus Junior (Mackenzie)

5° WTranS - Workshop de Transparência em Sistemas: Geral: Claudia Cappelli (UNIRIO), Vanessa Nunes (UnB) - Local: Ilana de Almeida Concilio (Mackenzie)

6° BraSNAM - Brazilian Workshop on Social Network Analysis and Mining: Geral: Giseli Rabello Lopes (UFRJ), Rodrigo Pereira dos Santos

(UNIRIO) - Local: Leandro Augusto da Silva (Mackenzie)

6° DesafIE! - Workshop de Desafios da Computação Aplicada à Educação: Geral: Edson Pinheiro Pimentel (UFABC), Thiago Barcelos (Instituto Federal de São Paulo) - Local: Beatriz de Almeida Pacheco (Mackenzie)

8° WCAMA - Workshop de Computação Aplicada à Gestão do Meio Ambiente e Recursos Naturais:
Geral: Antonio Mauro Saraiva (Universidade de São Paulo)

9° SBCUP - Simpósio Brasileiro de Computação Ubíqua e Pervasiva:
Geral: Raquel Aparecida de Freitas Mini (PUC Minas), Adenauer Corrêa Yamin (UCPEL/UFPEL) - Local: Ana Grasielle Dionísio Corrêa (Mackenzie)

11° BreSci - Brazilian e-Science Workshop: Geral: Rafaelli Coutinho (CEFET-RJ), Emanuele Santos (UFC) - Local: Fábio Silva Lopes (Mackenzie)

11° WIT - Women in Information Technology: Geral: Sílvia Amélia Bim (UTFPR), Tanara Lauschner (UFAM) - Local: Ana Cristina dos Santos (Mackenzie)

14° SBSC - Simpósio Brasileiro de Sistemas Colaborativos: Geral: Maria Amelia Eliseo (Universidade Presbiteriana Mackenzie), Jane de Almeida (Universidade Presbiteriana Mackenzie) - Local: Valéria Farinazzo (Universidade Presbiteriana Mackenzie)

16° WPerformance - Workshop em Desempenho de Sistemas Computacionais e de Comunicação:
Geral: Carlos Alberto Vieira Campos (UNIRIO), Danielo G. Gomes (UFC) - Local: Dirceu Matheus Jr. (Mackenzie)

17° WIM - Workshop de Informática Médica: Geral: Lucas Ferrari de

Oliveira (UFPR) - Local: Valéria Farinazzo Martins (Universidade Presbiteriana Mackenzie)

18° CQ - Curso de Qualidade: Geral: Ronaldo Correia (UNESP) – Local: Fabio Silva Lopes (Mackenzie)

19° COMPUTEC - Seminário de Computação e Mercado: Geral: Renato Cerqueira (IBM) – Local: Vinicius Miana Bezerra (Mackenzie)

25° WEI - Workshop sobre Educação em Computação: Geral: Leandro Galvão (UFAM), Simone Martins (UFF) – Local: Ismar Frango Silveira (Mackenzie)

30° CTD - Concurso de Teses e Dissertações: Geral: Elisa Yumi Nakagawa (USP - São Carlos) – Local: Leandro Nunes de Castro (Mackenzie)

36° CTIC - Concurso de Trabalhos de Iniciação Científica: Geral: Carlos de Salles Soares Neto (UFMA) – Local: Pollyana Notargiacomo (Mackenzie)

36° JAI - Jornadas de Atualização em Informática: Geral: Flávia Coimbra Delicato (UFRJ), Paulo de Figueiredo Pires (UFRJ) – Local: Ismar Frango Silveira (Mackenzie)

43° SECOMU - Seminário de Computação na Universidade: Geral: Fabio Kon (USP) – Local: Luciano Silva (Mackenzie)

44° SEMISH - Seminário Integrado de Software e Hardware: Geral: José Augusto Suruagy Monteiro (UFPE) – Local: Calebe de Paula Bianchini (Mackenzie)

Sumário

Apresentação	10
2° Cloudscape - Cloudscape Brazil	11
2° ETC - Encontro de Teoria da Computação	13
2° WCN - Workshop on Cloud Networks	178
2° Workshop do testbed Fibre - FIBRE	180
4° ENCompIF - Encontro Nacional de Computação dos Institutos Federais	202
4° WPIETFIRTF - Workshop Pré-IETF-IRTF	279
5° WTranS - Workshop de Transparência em Sistemas	374
6° BraSNAM - Brazilian Workshop on Social Network Analysis and Mining	468
6° DesafIE! - Workshop de Desafios da Computação aplicada à Educação	688
8° WCAMA - Workshop de Computação Aplicada à Gestão do Meio Ambiente e Recursos Naturais	787
9° SBCUP - Simpósio Brasileiro de Computação Ubíqua e Pervasiva	850
11° BreSci - Brazilian e-Science Workshop	1038
11° WIT - Women in Information Technology	1124
14° SBSC - Simpósio Brasileiro de Sistemas Colaborativos	1261
16° WPerformance - Workshop em Desempenho de Sistemas Computacionais e de Comunicação	1610
17° WIM - Workshop de Informática Médica	1786
18° CQ - Curso de Qualidade	2080
19° COMPUTEC - Seminário de Computação e Mercado	2082
25° WEI - Workshop sobre Educação em Computação	2084
30° CTD - Concurso de Teses e Dissertações	2337
36° CTIC - Concurso de Trabalhos de Iniciação Científica	2439
36° JAI - Jornadas de Atualização em Informática	2531

43° SECOMU - Seminário de Computação na Universidade	2539
44° SEMISH - Seminário Integrado de Software e Hardware	2541

Apresentação

A 37ª Edição do Congresso da Sociedade Brasileira de Computação traz para São Paulo – Capital, a comunidade brasileira de Computação para discutir o tema “Computação para Tudo e Tod*s” em um momento crítico da Sociedade Brasileira, em que as principais instituições nacionais estão sob julgamento. As sociedades científicas têm por obrigação apresentar alternativas para que essas questões sejam revertidas em novos rumos para o Brasil. A Computação tem sido o principal vetor das grandes mudanças pelas quais o mundo vem passando, estando presente no dia a dia das pessoas, seja de que área for e de qual seja o seu nível social ou econômico.

As novas gerações além de dispor de ferramentas tecnológicas para o dia a dia utilizam-nas para dar suporte ao seu aprendizado de disciplinas como Matemática, Português, História, etc., levando-as a reengendrar o seu uso e buscando o “aprender a fazer computação” no seu cotidiano. O tema proposto para este evento traz o desafio de que o Pensamento Computacional não é mais apenas dos profissionais da área, mas de tod*s sem qualquer distinção. A Sociedade Brasileira de Computação (SBC) tem incentivado iniciativas que permitem a inclusão ao universo das tecnologias da informação e comunicação (TICs).

A Faculdade de Computação e Informática da Universidade Presbiteriana Mackenzie dá as boas-vindas aos congressistas e os incentiva a conhecerem e debaterem as novidades que serão apresentadas nas palestras e sessões científicas, bem como, a trocar experiências e construir relacionamentos.

Agradecemos aos nossos patrocinadores CGI.Br, Qualcomm, Três Corações, Springer e aos órgãos de fomento MackPesquisa, FAPESP e CNPq. Agradecemos a SBC pela confiança e suporte durante a planejamento e execução do projeto CSBC 2017. Agradecemos, também, a Universidade Presbiteriana Mackenzie e Instituto Presbiteriano Mackenzie pelo suporte de todos os seus setores durante o planejamento e realização do evento. Finalmente, nossos agradecimentos a todos os associados da SBC que estiveram conosco nestes dias muito produtivos do evento.

Comissão Organizadora do CSBC 2017

2º Cloudscape - Cloudscape Brazil

Apresentação

With the Communication on the data-driven economy (COM(2014)442 final), the European Council (EC) aims to accelerate the transition towards a single digital market, where cloud computing, big data, cyber security, 5G and Internet of Things are considered key building block technologies. In Brazil, the National Strategy for Science, Technology and Innovation (ENCTI) promotes Science, Technology and Innovation as a supporting axis for the economic and social growth of the country. Its Strategic Program for Software and Services in IT, known as project “TI Maior (Major/Bigger IT)”, recognises Cloud Computing and Big Data as two major driving forces for the Brazilian economy, thus aligned with the EC vision. That’s why this year's Cloudscape Brazil is showcasing “Trustworthy cloud & big data services from research to market”, to demonstrate how powerful this market is in the two regions and how productive transatlantic collaboration is key to accelerating innovation.

A dialogue with Europe. A primary goal of this year's Cloudscape Brazil is to ensure a productive exchange with research institutes and businesses that are active in shaping an economy enabled by Big Data and Cloud Computing research in Europe. Representatives from European research projects, funded by the European Commission, will be attending to showcase cutting-edge results and Open Source Software available in the CloudWATCH2 Service Offer catalogue, and which can serve as a reference to build the brand-new EUBrasilCloudFORUM marketplace. The Clusters of European Projects on Cloud will have a unique opportunity to share trends in European markets, how they are meeting demand for the next wave of cloud computing, and also create new collaboration synergies.

The floor to SMEs. European SMEs, will be invited to explain how they ended up in delivering services that are emerging from top-class European research projects. Their lessons learnt will be useful for all those Brazilian start-ups hosted at CATI-certified (the Brazilian Information Technology Committee) accelerators that, since 2016, can apply for funding H2020 and MCTI collaborative and which are also part of this agenda.

Comitê Organizador

Coordenação Geral

Priscila Solis (UNB)

Coordenação Local

Calebe de Paula Biachini (Mackenzie)

Coordenação do Comitê de Programa

Wagner Meira Junior (UFMG)

2º ETC - Encontro de Teoria da Computação

Apresentação

Este ETC é a segunda edição de um evento voltado para a grande área de Teoria da Computação, proposto e organizado por membros da Comissão Especial em Algoritmos, Combinatória e Otimização (CE-ACO), cujo propósito maior é integrar e aproximar mais efetivamente os pesquisadores da área e a área à Sociedade Brasileira de Computação (SBC), bem como promover a sua divulgação entre a comunidade de pesquisadores, profissionais e estudantes que participam dos congressos da SBC. Para esta edição foram submetidos 44 trabalhos, de qualidade inegável, tal como o foram aqueles submetidos ao I ETC. Isso nos levou novamente a realizar o evento em dois dias, desta feita com sessões paralelas. Foram aceitos 39 trabalhos, dos quais 33 serão apresentados ao longo dos dias 03 e 04 de julho de 2017, intercalados por palestras de pesquisadores renomados da área. Os demais trabalhos serão apresentados como pôsteres. Todos os trabalhos submetidos tiveram entre 2 e 3 pareceres emitidos por especialistas, mobilizando 74 pesquisadores que emitiram 134 pareceres. Os autores dos trabalhos aceitos estão em 28 instituições distintas, no Brasil e no exterior.

Adicionalmente, o II ETC agrega também o II Desafio de Algoritmos, Combinatória e Otimização (II DACO), com o fito de despertar talentos e entusiasmo entre estudantes de mestrado e graduação em computação para essas áreas.

Gostaríamos de expressar nossos agradecimentos ao Prof. Jayme Szwarcfiter, que generosamente nos tem apoiado, aceitando fazer a abertura do evento, aos palestrantes Prof. Geraldo Robson Mateus, Profa. Sulamita Klein, Profa. Yoshiko Wakabayashi e Prof. Carlile Lavor, que aceitaram prontamente o nosso convite de abrilhantar o evento. Somos imensamente gratas à organização do CSBC, aos membros do Comitê Científico, aos membros do Comitê do DACO e aos pareceristas externos pelo seus compromentimentos e excelente trabalho.

Cláudia Linhares Sales (UFC), Rosiane de Freitas (UFAM)

Comitê Organizador

Coordenação Geral

Cláudia Linhares Sales (UFC), Rosiane de Freitas (UFAM)

Coordenação Local

Pedro P. B. de Oliveira (Universidade Presbiteriana Mackenzie)

Comitê Científico

Ana Teresa Martins (DC, UFC), Calebe Bianchini (Univ. P. Mackenzie), Carlos Eduardo Ferreira (USP), Celina M. H de Figueiredo (UFRJ), Cláudia Linhares Sales (UFC), Claudson Bornstein (DCC - IM, UFRJ), Cristina Fernandes (USP), Edson Cáceres (FACOM, UFMS), Erika Coelho (UFGO), Fábio Protti (IC, UFF), Flavio Keidi Miyazawa (IC, UNICAMP), Jayme Szwarcfiter (COPPE, IM e NCE, UFRJ), Luciana Buriol (INF, UFRGS), Luerbio Faria (UERJ), Luiz Satoru Ochi (IC, UFF), Manoel Campelo (UFC), Mario Benevides (IM, UFRJ), Rosiane de Freitas (IComp, UFAM), Vinicius Santos (DCC, UFMG)

Comitê do DACO

Calebe Bianchini (Univ. P. Mackenzie), Claudson Bornstein (DCC - IM, UFRJ), Rosiane de Freitas (IComp, UFAM), Vinicius Santos (DCC, UFMG)

Revisores Ad-hoc

Alexandre Freire, Alexsander Melo, Ana da Silva, Ana Karolinnia Maia de Oliveira, Anand Subramanian, André Guedes, André Renato Villela da Silva, Angelo Brayner, Aritanan Gruber, Atílio Luiz, Bruno Lopes, Calebe Bianchini, Carlos Fisch de Brito, Carlos Hoppen, Claudia Linhares Sales, Claudson Bornstein, Cristiane Sato, Cristiano Arbex, Cristina Fernandes, Daniel Posner, Daniela Cunha, Diana Sasaki, Diane Castonguay, Diego Nicodemos, Edson Cáceres, Eduardo Laber, Emerson Monte Carmelo, Fabio Dias, Fabio Protti, Fabricio Benevides, Fabricio Murai, Fernanda Couto, Fernando Carvalho, Flavia Bernardini, Flavio Miyazawa, Francicleber Ferreira, Gilberto Sousa, Glauber Cintra, Guilherme de Castro Mendes Gomes, Guilherme Oliveira Mota, Gustavo Semaan, Hebert da Silva, Hugo do Nascimento, Igor Machado Coelho, João Paulo Pordeus, Julio Araujo, Les Foulds, Luciana Buriol, Luciano Silva, Luerbio Faria, Luiz Satoru Ochi, Luziane F. de Mendonça, Manoel Campelo, Marcelino Pequeno, Marina Groshaus, Mauricio Collares, Márcia Cappelle, Mário Benevides, Rafael Castro de Andrade, Raquel Bravo, Roberto Araujo, Rodrigo Hausen, Rosiane de Freitas, Rubens Sucupira, Rudini Sampaio, Santiago Ravelo, Sheila Almeida, Taísa Martins, Tiberius Bonates, Victor Campos, Vinicius dos Santos, Vitor Coelho, Wanderley Alencar, Wellington Previero

Palestras

Teoria x Prática: Será que vamos conseguir vencer?

Geraldo Robson Mateus (Universidade Federal de Minas Gerais)

A Teoria na prática tem tido uma forte demanda acadêmica, social e econômica. O objetivo desta palestra é mostrar como problemas clássicos podem ser integrados e explorados para gerar resultados na prática. Como motivação serão usados modelos, formulações e algoritmos para problemas de otimização de fluxos e alocação que fazem parte da literatura desde as origens da computação e podem atender a diversas aplicações. Estas surgem pela integração de problemas clássicos de fluxos em redes, planejamento da produção, sequenciamento, roteamento, localização de facilidades, recobrimento, coloração de grafos, conjuntos independentes e o próprio problema de alocação. Atendem a diversos critérios de otimização como custos, tempo, qualidade, e restrições relacionadas a atributos de capacidade, tempo, sequenciamento, disjunção. Com as alternativas recentes de formulações tem permitido gerar algoritmos eficientes e capazes de atender aos desafios das aplicações reais.

Grafos-(k, l) bem-cobertos

Sulamita Klein (Universidade Federal do Rio de Janeiro)

Um grafo $G = (V, E)$ é (k, l) se o seu conjunto de vértices V pode ser particionado em k conjuntos independentes e l cliques. Brandstadt provou que o reconhecimento de grafos- (k, l) é polinomial para $k \leq 2$ e $l \leq 2$ e NP-completo caso contrário. G é bem coberto quando todos os seus conjuntos independentes maximais têm o mesmo número de vértices. Chvátal e Slater mostraram que o reconhecimento de grafos bem cobertos em geral é coNP-completo. Entretanto, existem reconhecimentos polinomiais para algumas classes de grafos: bipartidos, split, cografos entre outras. O problema de decisão (k, l) -BEM-COBERTO ($(k, l)WCG$) tem como entrada um grafo $G = (V, E)$ e a questão: G é um grafo- (k, l) e um grafo bem coberto? Vamos discutir a complexidade desse problema.

Esse trabalho foi feito em colaboração com Luerbio Faria e Sancrey Rodrigues Alves.

Selfish 2D Bin Packing Games

Yoshiko Wakabayashi (Universidade de São Paulo)

We address a game-theoretical version of the well-known bin packing problem, selfish bin packing problem. In the bin packing problem, one is given a set of items and wishes to pack them into a minimum number of bins. The more commonly investigated variants are those in which the items and the bins have similar shape: for example, in the 2D (resp. 3D) bin packing, the items and bins are rectangles (resp. boxes). The selfish 1D bin packing problem has been investigated since 2006. We investigate a 2D version, in which the items to be packed are rectangles, the bins are unit squares, and the packing must be orthogonal. This game starts with a set of items arbitrarily packed in bins. The cost of an item is defined as the ratio between its area and the total occupied area of the respective bin. Each item is a selfish player that wants to minimize its cost. A migration of an item to another bin is allowed only when its cost is decreased. We show that this game always converges to a Nash equilibrium (a stable packing where no item can reduce its cost by moving to a different bin). Our focus is the study of the price of anarchy of this game, which is the ratio between the worst cost of a Nash equilibrium and the optimal social cost (the minimum number of bins needed to pack the given items). We show that the price of anarchy of this game is unbounded; so we address the particular case where all items are squares, and show that, in this case, it is at least 2.3634 and at most 2.6875. We also mention some results we have obtained for d -dimensional cubes, $d > 2$. For the 2D version, when all items are squares, we also present some recent results on the strong price of anarchy. For this case, instead of Nash equilibrium, we consider strong Nash equilibrium (a stable packing in which no set of items can simultaneously migrate to another bin and decrease the cost of each item in the set).

This is joint work with C.G. Fernandes (USP), C.E. Ferreira (USP) and F.K. Miyazawa (UNICAMP).

Geometria Molecular: Modelos e Algoritmos em 5D

Carlile Lavor (Universidade Estadual de Campinas)

Discutiremos um novo modelo para representar a estrutura geométrica de uma molécula em 5 dimensões, utilizando o Espaço Conforme e uma linguagem mais poderosa do que a Álgebra Linear: a Álgebra Geométrica. O Modelo Conforme pode ser visto como uma extensão do Modelo Projetivo, muito utilizado em Geometria Computacional. A Álgebra Geométrica é uma área da Matemática que busca representações algébricas para conceitos geométricos. Reconhecida pela comunidade dos físicos como ferramenta de grande importância, vem ganhando espaço em outras áreas, como estrutura molecular, visualização de dados, computação gráfica, visão computacional e robótica. A beleza e o poder da Álgebra Geométrica estão relacionados à sua capacidade de unificação, simplificação e generalização de vários objetos da Matemática que envolvem conceitos geométricos (por exemplo, vetores, matrizes, números complexos e quatérnios podem todos ser vistos de uma maneira integrada). Tudo isso será exemplificado com um problema real de grande importância em biologia computacional: calcular a estrutura 3D de uma molécula de proteína usando distâncias entre átomos próximos.

Trabalhos aceitos

Análise dos Tempos de Setup Dependentes da Sequência em uma Empresa do Polo Industrial de Manaus através da Regra de Liberação e do Algoritmo Genético

Luiz Eduardo Fernandes Bentes, Wesley da Silva Rocha, Renata da Encarnação Onety

Facility Leasing with Penalties

Murilo Santos de Lima, Mario César San Felice, Orlando Lee

Número de Ramsey relativo a arestas de potências de caminhos

Dennis Clemens, Matthew Jenssen, Yoshiharu Kohayakawa, Natasha Morrison, Guilherme Oliveira Mota, Damian Reding, Barnaby Roberts

Biclique edge-choosability in some classes of graphs

Gabriel A. G. Sobral, Marina Groshaus, André L. P. Guedes

Advances in anti-Ramsey theory for random graphs

Guilherme Oliveira Mota

Vertex-disjoint path covers in graphs

Renzo Gomez

Uma Aproximação para o Problema de Alocação de Terminais com Capacidade

Lehilton L.C. Pedrosa, Vinícius Balbino de Souza

Sobre as relações racionais intrinsecamente ambíguas

Rodrigo de Souza

Método Exato para um Problema de Alocação Justa

Edênis F. Azevedo, Carlos E. Ferreira, Alexandre S. Freire, Aritanan Gruber, Augusto Vellozo

Deletion Graph Problems Based on Deadlock Resolution

Alan Diêgo Aurélio Carneiro, Fábio Protti, Uéverton S. Santos

Representações Implícitas Probabilísticas de Grafos

Juan P. A. Lopes, Fabiano de S. Oliveira, Paulo E. D. Pinto

Epistemic Logic Based on Dolev-Yao Model

Mario R. F. Benevides, Luiz C. F. Fernandez, Anna C. C. M. de Oliveira

Edge-colouring of triangle-free graphs with no proper majors

Leandro M. Zatesko, Renato Carmo, André Luiz P. Guedes

New Insights on Prize Collecting Path Problems

Edcarllos Santos, Alfredo Candia-Véjar, Luiz Satoru Ochi, Luidi Simonetti, Ueverton S. Souza

Um algoritmo exato para biclique-coloração

Guilherme de C. M. Gomes, Vinicius Fernandes dos Santos

Coloração arco-íris em grafos resultantes de produto cartesiano

Aleffer Rocha, Sheila Morais Almeida

Hitting all longest cycles in a graph

Cristina G. Fernandes, Juan Gutiérrez

Uma generalização dos Códigos Hamming

N. Pedroza, P. E. D. Pinto, J. L. Szwarcfiter

The 1,2,3-Conjecture for powers of paths and powers of cycles

Atílio G. Luiz, C. N. Campos

Uma versão algorítmica do Lema Local de Lovász

Bruno Pasqualotto Cavalari

The Least-Dependency Constrained Spanning Tree Problem

Luiz Alberto Viana, Manoel Campelo

On a joint technique for Hajos' and Gallai's Conjectures

Fábio Botler, Maycon Sambinelli, Rafael S. Coelho, Orlando Lee

Uma técnica para obtenção de atratores de autômatos celulares elementares

Eurico L. P. Ruivo, Pedro P. B. de Oliveira

Grafos Half Cut

Rubens A. Sucupira, Sulamita Klein, Luerbio Faria

Tight bounds for gap-labellings

C. A. Weffort-Santos, C. N. Campos, R. C. S. Schouery

Modelo Matemático para o Problema de Transporte Escolar em Zonas Rurais

Jean N. R. Araujo

Abordagens Heurísticas para o p-Cabo-Trincheira com Localização de Instalações

Ulysses Rocha, Natanael Ramos, Lucas Melo, Marcelo Benedito, André Silva, Rafael Cano, Flávio Miyazawa, Eduardo Xavier

Algoritmo de Aproximação para o Problema da Evacuação por Ônibus

Lehilton L. C. Pedrosa, Rafael C. S. Schouery

Modelos para o Problema de Alocação de Pedágios

Alloma Silva, Geraldo R. Mateus

Reconhecendo Grafos com até 1 Cruzamento

André Carvalho Silva, Orlando Lee

Utilizando álgebras de flags para problemas de combinatória extremal

Roberto F. Parente, Cristiane M. Sato

Minimum Weight Tree Spanner Problem

Hugo Braga

Tighter Analysis of an Approximation for the Cumulative VRP

Mauro Henrique Mulati, Flávio Keidi Miyazawa

Pôsteres

Algoritmo Branch-and-Bound para o Problema do Caixeiro Alugador

Vítor de Godeiro Marques

Heurísticas de Construção no Problema de Tabela-Horário de Universidades

Renan Costalonga Monteiro, Edmar Hell Kampke

Representação de Sinais da Língua Brasileira de Sinais (LIBRAS) em Autômatos Finitos

Eric Macedo Cabral, Patrick H. S. Brito

PMIH: Poliedro Maximal de Vértices em Z^n Inscrito em uma Hiperesfera em R^n

Eleazar Gerardo Madriz Lozada, Yuri Tavares dos Passos, Tales Raian Ribeiro Maltez

Autômatos celulares para reconhecimento de padrões

Hallefy Ferreira, Núbia Rosa da Silva

Coloração 2-backbone de grafos periplanares com um emparelhamento backbone

Júlio C. S. Araújo, Camila S. Araújo, Alexandre A. Cezar

Análise dos Tempos de *Setup* Dependentes da Sequência em uma Empresa do Polo Industrial de Manaus através da Regra de Liberação e do Algoritmo Genético

Luiz Eduardo Fernandes Bentes¹, Wesley da Silva Rocha¹,
Renata da Encarnação Onety²

¹Núcleo de Computação

²Departamento de Engenharia da Produção
Escola Superior de Tecnologia
Universidade do Estado do Amazonas
Av. Darcy Vargas, 1200 – Manaus – Amazonas

{lefb.eng, wsr.snfl17, ronety}@uea.edu.br

Abstract. *In some manufacturing processes carried out in the Industrial Pole of Manaus, it is possible to identify scheduling situations that use intuitive rules, such as the Liberation Rule. The purpose of this article is to analyze how the current manufacturing methods and the genetic algorithms respond to a single machine scheduling problems at a local electronic board production company.*

Resumo. *Em alguns processos de produção realizados no Polo Industrial de Manaus, são identificadas situações de scheduling que utilizam regras intuitivas como a Regra de Liberação. A proposta deste artigo é analisar como os métodos atuais de produção e os algoritmos genéticos respondem à resolução do problema de sequenciamento de máquina única presente em uma empresa local responsável pela produção de placas eletrônicas.*

1. Introdução

A Zona Franca de Manaus, modelo de desenvolvimento econômico implantado pelo governo brasileiro para o desenvolvimento da região, engloba majoritariamente o setor industrial. Atualmente, existem mais de 600 indústrias com atuações principais nos segmentos de eletroeletrônicos, duas rodas e químico, sendo, portanto, responsável pela maior parte da economia da cidade de Manaus [SUFRAMA 2015]. Os profissionais atuantes nesta realidade industrial vivenciam diversas situações que podem ser descritas em problemas de *scheduling* [Müller and Dias 2002], nos quais o tempo reflete diretamente no desempenho financeiro da empresa. Uma dessas situações ocorre em uma empresa local de produção de placas eletrônicas, responsável por diversos processos, desde a montagem das placas à implementação destas em um produto final.

A situação-problema apresenta-se como a busca pela minimização do tempo de término das tarefas (*makespan*) a serem realizadas por uma máquina de inserção automática de componentes. No contexto analisado, os tempos de preparação da máquina são dependentes da sequência, isto é, terão duração de acordo com a tarefa processada anteriormente. Atualmente, o problema é resolvido manualmente, o que evidencia um considerável distanciamento entre os meios teóricos e práticos empregados na atividade

de sequenciar. Dessa forma, tem-se como objetivo minimizar o *makespan* ao considerar-se o tempo de *setup* da máquina entre as tarefas, em um modelo de uma máquina única.

O *setup* é definido pelas trocas de carretéis de componentes de modo que, a cada novo modelo de placa produzido, são retirados os carretéis que não serão utilizados e colocados os novos para a produção do próximo modelo. Assim, quando duas placas consecutivas têm componentes semelhantes, o número de trocas de carretéis diminui. Segundo a notação de Graham, este problema de sequenciamento com tempos de *setup* dependentes da sequência pode ser descrito como o problema $1|s_{ij}|C_{max}$ [Subramanian et al. 2014]. Este problema pode ser traduzido como o Problema do Caixeiro Viajante que pertence a classe dos problemas NP-Difícil. Dentro de empresas que precisam tratar esses problemas, é comum o uso de técnicas baseadas na Regra de Liberação, devido ao fato de serem métodos intuitivos e de fácil implementação.

A proposta deste trabalho é identificar no caso real desta empresa, qual seria a sequência de produção capaz de produzir respostas satisfatórias para pequenas instâncias de tarefa através da execução de algoritmo heurístico (algoritmo genético). A comparação com a regra de liberação, que representa o processo atual, é feita por meio de análises gráficas. Desta forma, pode-se desenvolver uma ferramenta para ajudar no planejamento e controle da produção com redução do tempo de execução das tarefas determinadas.

2. Metodologia

Com os dados coletados na empresa a partir de entrevista do tipo semiestruturada, verificou-se que o tempo de *setup* varia em função da similaridade entre as placas. Deste modo, construiu-se a instância denominada J22. Esta corresponde à uma matriz de adjacência com a quantidade de carretéis a serem trocados entre um modelo e outro de um total de 22 placas. Além do desenvolvimento da instância J22, foram utilizadas instâncias clássicas do Problema do Caixeiro Viajante, disponibilizadas na biblioteca TSPLIB, a fim de garantir resultados consistentes dos métodos, uma vez que para essas instâncias a resposta ótima já é conhecida. Neste trabalhos, representamos apenas a instância *Ulysses22* para efeitos de comparação.

A próxima etapa constitui-se na implementação dos algoritmos que indiquem a sequência de produção de menor número de trocas de carretéis e, conseqüentemente, menor consumo de tempo durante o *setup*. Cada algoritmo segue uma lógica diferente para esse fim, sendo um otimizado, e o outro, seguindo a regra MTS, conforme descritos a seguir.

2.1. Regra de Liberação: MTS

Conforme [Pacheco and Santoro 2001], o método de sequenciamento da produção mais conhecido pelas empresas é a Regra de Liberação. Constituída de uma lógica simples e direta para o plano de montagem da sequência da produção, uma dessas regras é a MTS (Menor Tempo de *Setup*). Nesta regra, estipula-se que, ao completar uma tarefa, a próxima será a que demandar menor tempo de *setup*. O MTS é aplicado na empresa em questão como solução para o sequenciamento dos modelos de placas eletrônicas. Para simular o funcionamento da regra MTS, desenvolveu-se um algoritmo guloso cuja estratégia imediatista elege a melhor solução possível no momento como a mais próxima, sem levar em consideração outras possibilidades.

2.2. Algoritmo Genético

Inspirando-se nos mecanismos de seleção natural e herança genética, John Holland (1975) propôs o método de busca e otimização conhecido como Algoritmo Genético (AG). Através da escolha dos indivíduos mais aptos e de sucessivos cruzamentos entre eles (além de mutações), a natureza foi capaz de encontrar indivíduos capazes de resolver habilmente os diversos problemas inerentes à sobrevivência [de Lacerda and de Carvalho 1999]. O AG foi feito utilizando indivíduos constituídos por números na base decimal para representação de cada placa e a população foi descrita de forma uniformemente aleatória utilizando um gerador de números aleatórios de alta qualidade. A implementação em si foi desenvolvida utilizando a linguagem C++. As operações utilizadas no desenvolvimento do AG foram: Inicialização Randômica Uniforme; Seleção por Torneio; Cruzamento multiponto e mutação por troca (*swap mutation*). O uso de tais operadores foram possíveis ao converter a sequência de placas de um gene em uma permutação.

Considerando um grafo $G = (N, E)$ onde $N = \{1, \dots, n\}$ é o conjunto de placas e $E = \{1, \dots, m\}$ é o conjunto das possíveis trocas de placas, e c_{ij} , o custo para trocar o *setup* de um modelo i para j , o problema consiste em localizar o menor ciclo hamiltoniano do grafo G . A função objetivo considerada pode ser interpretada como a minimização do somatório dos custos de troca dos componentes entre as placas.

3. Resultados

Os resultados foram obtidos através da execução e análise dos algoritmos descritos. Os programas recebiam de entrada a matriz de adjacências ponderada, representando as instâncias de teste. A saída é o custo total desta solução sendo o tempo total de *setup* no sequenciamento. Os gráficos de Gantt foram utilizados para comparação visual dos resultados de cada uma das técnicas utilizadas, Algoritmo Genético e MTS. No eixo horizontal, representa-se o tempo total da produção em uma dimensão arbitrária.

A Figura 1 demonstra as soluções obtidas através da instância clássica *Ulysses22*. Observa-se, no caso do MTS, como as melhores escolhas no curto prazo podem custar muito no longo prazo. Isto é claramente representado nas tarefas finais. Quando comparadas individualmente, as tarefas do AG demonstram redução de tempo em relação às soluções geradas pelo MTS. Caso o tempo fosse interpretado como minutos, por exemplo, o MTS sequenciaria esta produção em 178,18h. O AG, por sua vez, geraria uma sequência de placas em 121,31h. Significando uma redução de 31% no tempo da produção total.

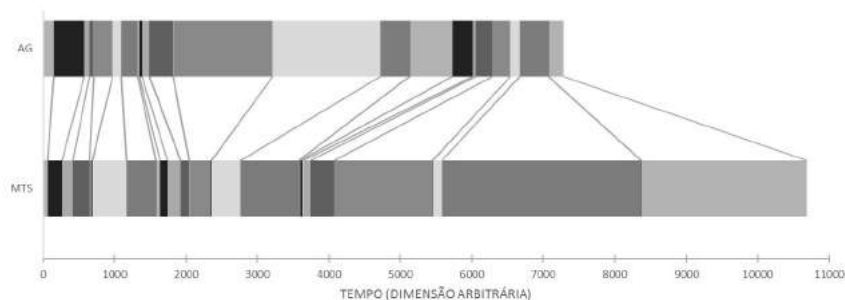


Figura 1. Gráfico de Gantt - Instância *Ulysses22*.

Esse comportamento também é observado nas outras instâncias de teste como, por exemplo, a J22, que representa o caso real da empresa em estudo (Figura 2). A

melhoria encontrada neste caso é de uma hora de produção entre as soluções obtida pelos algoritmos. Em termos de produção, uma hora pode representar uma boa contenção de gastos ao fim da linha de montagem. Esse tempo acumulado ao longo de uma semana ou um mês, certamente geraria para a empresa mais lucro e menos desperdício.

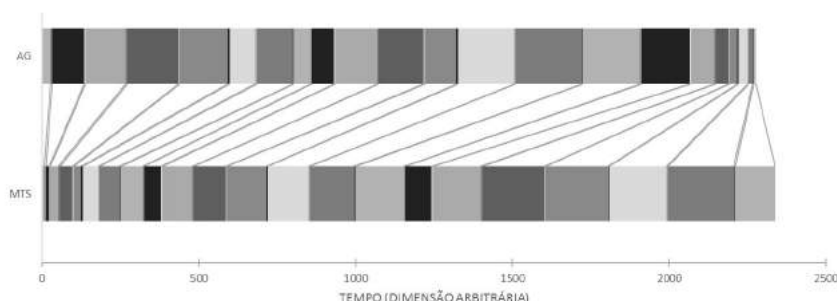


Figura 2. Gráfico de Gantt - Instância J22.

4. Conclusão

Conforme os dados expostos na seção anterior, nota-se a importância da imersão de métodos computacionais na indústria como ferramenta auxiliadora na modelagem das linhas de produção e, conseqüentemente, na tomada de decisão pelo gestor. No estudo desenvolvido, ainda que a Regra de Liberação facilite, simplifique e padronize o sequenciamento aos olhos humanos, há uma grande possibilidade de que o algoritmo proposto pela Regra de Liberação produza um resultado distante ao ótimo, isso é, aumentando a ociosidade da máquina, como apresentado na Figura 1.

Por se tratar de uma instância real, inicialmente foram alcançados os valores base a fim de garantir a otimização dos algoritmos propostos (Figura 2). Após isto, foram realizadas novas implementações que permitiram aumentar a quantidade de placas a serem sequenciadas. Dessa forma, se amplia a atuação do estudo aos casos reais da empresa através de técnicas escalonáveis, como é o caso do AG. Os trabalhos futuros visam aprimorar os testes com novas variações do AG em novas instâncias genuínas da empresa. Pode-se também pensar em prototipação de um sistema que permita uma melhor interação com o profissional da produção.

Referências

- de Lacerda, E. G. and de Carvalho, A. (1999). Introdução aos algoritmos genéticos. *Sistemas inteligentes: aplicações a recursos hídricos e ciências ambientais*, 1:99–148.
- Müller, F. M. and Dias, O. B. (2002). Algoritmo para o problema de sequenciamento em máquinas paralelas não-relacionadas. *Revista Produção*, 12(2):7.
- Pacheco, R. F. and Santoro, M. C. (2001). A adoção de modelos de scheduling no brasil: deficiências do processo de escolha. *Gestão & Produção*, 8(2):128–138.
- Subramanian, A., Battarra, M., and Potts, C. N. (2014). An iterated local search heuristic for the single machine total weighted tardiness scheduling problem with sequence-dependent setup times. *International Journal of Production Research*.
- SUFRAMA (2015). Modelo Zona Franca de Manaus. Disponível em: www.suframa.gov.br/zfm_o_que_e_o_projeto_zfm.cfm Acessado em Março de 2017.

Facility Leasing with Penalties

Murilo Santos de Lima^{*1}, Mário César San Felice^{†2}, Orlando Lee^{‡1}

¹Instituto de Computação – Universidade Estadual de Campinas (Unicamp)
Av. Albert Einstein, 1251 – Cidade Universitária – 13083-852 – Campinas – SP – Brazil

²Instituto de Matemática e Estatística – Universidade de São Paulo (USP)
Rua do Matão, 1010 – 05508-090 – São Paulo – SP – Brazil

{mslima, felice, lee}@ic.unicamp.br

***Abstract.** In this paper we study the facility leasing problem with penalties. We present a 3-approximation primal-dual algorithm, based on the algorithms by Nagarajan and Williamson for the facility leasing problem and by Charikar, Khuller, Mount and Narasimhan for the facility location problem with penalties.*

1. Introduction

In the **facility location problem**, it is given a metric space (V, d) , a set $F \subseteq V$ of facilities, an opening cost for each facility, and a set $D \subseteq V$ of clients. The goal is to choose a subset of facilities to open and an assignment between clients and facilities which minimize the cost of opening the facilities plus the sum of the distances from each client to its corresponding facility. This problem does not admit a polynomial-time algorithm with approximation factor smaller than 1.463 unless $P = NP$ [Sviridenko 2002]. Currently the best approximation factor is 1.488 [Li 2013].

In the **facility location problem with penalties**, we may leave a client j unassigned if we choose to pay a penalty π_j . I.e., we must select a subset of the facilities to open, and a subset of the clients to assign to open facilities. The cost of a solution is the cost of opening facilities, plus the sum of the distances from each assigned client to its corresponding facility, plus the penalty cost for unassigned clients. The facility location problem reduces to this problem if we set $\pi_j = \infty$ for every client j . Currently, a 1.5148-approximation algorithm is known for this problem [Li et al. 2015]; there is a simpler 3-approximation algorithm [Charikar et al. 2001].

In the **facility leasing problem**, clients are distributed along the time, and instead of opening facilities permanently, we may lease each facility for one of K different durations $\delta_1, \dots, \delta_K$. The cost for leasing a facility p for δ_k units of time is $\gamma(p, k) \in \mathbb{R}_+$; it depends on the facility position, as in the traditional facility location problem, but also on the leasing type k . We may assume that leasing costs respect economies of scale, i.e., it is more cost-effective to lease facilities for longer periods. We wish to select a set of facility leases that serve the clients and minimizes the leasing costs plus the sum of the distances from each client to the facility lease that serves it. This problem has a 3-approximation primal-dual algorithm [Nagarajan and Williamson 2013].

^{*}Supported by FAPESP/CAPES Proc. 2014/18781-1, and CNPq Proc. 142161/2014-4.

[†]Supported by CAPES PNPd scholarship 1522390.

[‡]Supported by CNPq Proc. 311373/2015-1, and FAPESP Proc. 2015/11937-9.

Our Contribution. We study the combination of the two previous problems, which we call the **facility leasing problem with penalties** (FLEP): facilities are leased instead of permanently opened, and some clients may be left unassigned by paying a penalty cost. We obtain a 3-approximation algorithm by combining algorithms for the facility leasing problem and for the facility location problem with penalties.

Related Work. For every *covering problem* that admits an α -approximation, the corresponding problem with submodular penalties admits a $(1 - e^{-1/\alpha})^{-1}$ -approximation [Li et al. 2015]. Combining this approach with the algorithm by Nagarajan and Williamson ($\alpha = 3$), one obtains a 3.5277-approximation algorithm for the facility leasing problem with submodular penalties. Note that FLEP is a particular case of this problem, but our algorithm has smaller approximation ratio.

Text Organization. In Section 2 we define some notation and we present a formal definition of FLEP, as well as its primal and dual formulations. In Section 3 we describe our algorithm, and in Section 4 we present some conclusions and future research directions.

2. Notation and Problem Definition

Let $[K] := \{1, \dots, K\}$ be the set of lease types. We denote a facility lease by a triple $f = (p_f, k_f, t_f)$, in which $p_f \in V$ is the point where f is located, $k_f \in [K]$ is a leasing type, and $t_f \in \mathbb{Z}_+$ is the instant in which the lease for f begins. Let $\mathcal{F} := F \times [K] \times \mathbb{Z}_+$. We denote a client by a triple $j = (p_j, \pi_j, t_j)$, in which $p_j \in V$ is the point where j is located, $\pi_j \in \mathbb{R}_+$ is the penalty for not assigning a facility lease to j , and t_j is the instant in which j arrives. For simplicity, we write δ_f instead of $\delta(k_f)$, and γ_f instead of $\gamma(p_f, k_f)$, for $f = (p_f, k_f, t_f) \in \mathcal{F}$. Also, for $f = (p_f, k_f, t_f) \in \mathcal{F}$ and $j = (p_j, \pi_j, t_j) \in V \times \mathbb{R}_+ \times \mathbb{Z}_+$, we define the distance from j to f as $d(j, f) := d(p_j, p_f)$ if $t_j \in [t_f, t_f + \delta_f)$, and $d(j, f) := \infty$ otherwise; i.e., the distance from j to f is infinite if f does not cover t_j .

Problem FLEP($V, d, F, K, \gamma, \delta, D$): *The input consists of a set of points V , a distance function $d : V \times V \mapsto \mathbb{R}_+$ satisfying symmetry and triangle inequality, a set $F \subseteq V$ of potential facilities, an integer $K > 0$ that represents the number of lease types, a cost $\gamma(p, k) \in \mathbb{R}_+$ for leasing facility $p \in F$ with leasing type $k \in [K]$, a function $\delta : [K] \mapsto \mathbb{N}$ that maps each lease type to a length in days, and a set $D \subseteq V \times \mathbb{R}_+ \times \mathbb{Z}_+$ of clients in the form $j = (p_j, \pi_j, t_j)$. A solution consists of a set $X \subseteq \mathcal{F} := F \times [K] \times \mathbb{Z}_+$ of facility leases in the form $f = (p_f, k_f, t_f)$, and a function $a : D \mapsto X \cup \{\text{null}\}$ that maps each client j to some $f \in X$ such that $t_j \in [t_f, t_f + \delta_f)$ or to null. The goal is to find a solution (X, a) which minimizes $\sum_{f \in X} \gamma_f + \sum_{j \in D: a(j) \neq \text{null}} d(j, a(j)) + \sum_{j \in D: a(j) = \text{null}} \pi_j$.*

The problem has the following primal formulation:

$$\begin{aligned}
 & \text{minimize} && \sum_{f \in \mathcal{F}} \gamma_f \cdot y_f + \sum_{j \in D} \sum_{f \in \mathcal{F}} d(j, f) \cdot x_{jf} + \sum_{j \in D} \pi_j \cdot z_j \\
 & \text{subject to} && x_{jf} \leq y_f \quad \forall f \in \mathcal{F}, j \in D \\
 & && \sum_{\substack{f \in \mathcal{F} \\ t_j \in [t_f, t_f + \delta_f)}} x_{jf} + z_j \geq 1 \quad \forall j \in D \\
 & && x_{jf}, y_f, z_j \in \{0, 1\} \quad \forall f \in \mathcal{F}, j \in D
 \end{aligned}$$

Variable y_f indicates whether facility f was leased, variable x_{jf} indicates whether client j was served by facility lease f , and variable z_j indicates whether the algorithm decided to

pay the penalty associated with not assigning j . The relaxation of the dual problem is:

$$\begin{aligned} & \text{maximize} && \sum_{j \in D} \alpha_j \\ & \text{subject to} && \sum_{j \in D} (\alpha_j - d(j, f))_+ \leq \gamma_f \quad \forall f \in \mathcal{F} \\ & && \alpha_j \leq \pi_j \quad \forall j \in D \\ & && \alpha_j \geq 0 \quad \forall j \in D \end{aligned}$$

The dual has the following economical interpretation: each client j is willing to pay α_j to connect itself to some facility lease. Part of this value covers the distance to the facility; the other part is a contribution to pay the facility leasing cost. However, a client is not willing to pay more than its penalty.

3. Algorithm

Our algorithm is based on the algorithm for the facility leasing problem, and on an algorithm for the facility location problem with penalties [Nagarajan and Williamson 2013, Charikar et al. 2001]. We say that client j **reaches** facility lease f if $\alpha_j \geq d(j, f)$.

Algorithm PRIMAL-DUAL-FLEP($V, d, F, K, \gamma, \delta, D$)

```

01   $X \leftarrow \emptyset, S \leftarrow D, \alpha_j \leftarrow 0$  for every  $j \in D$ 
02  while  $S \neq \emptyset$  do
03    increase  $\alpha_j$  uniformly for every  $j \in S$  until
04      (a)  $\alpha_j = d(j, f)$  for some  $j \in S$  and  $f \in X$ 
05      or (b)  $\gamma_f = \sum_{j \in D} (\alpha_j - d(j, f))_+$  for some  $f \in \mathcal{F} \setminus X$ 
06      or (c)  $\alpha_j = \pi_j$  for some  $j \in S$ 
07   $X \leftarrow X \cup \{f \in \mathcal{F} \setminus X : f \text{ satisfies (b)}\}$ 
08   $S \leftarrow S \setminus \{j \in S : \alpha_j \geq \pi_j \text{ or } j \text{ reaches some } f \in X\}$ 
09  build the graph  $G_X$  with
10     $V[G_X] \leftarrow X, E[G_X] \leftarrow \{(f, f') : \exists j \in D : j \text{ reaches both } f \text{ and } f'\}$ 
11  build a maximal independent set  $X'$  in  $G_X$  greedily in non-increasing order of  $\delta$ 
12   $\hat{X} \leftarrow \{(p_f, k_f, t_f - \delta_k), f, (p_f, k_f, t_f + \delta_k) : f \in X'\}$ 
13  for every  $j \in D$  do
14    if  $j$  reaches some  $f \in X$ 
15      then  $a(j) \leftarrow \arg \min_{f' \in \hat{X}} \{d(j, f')\}$ 
16      else  $a(j) \leftarrow \text{null}$ 
17  return  $(\hat{X}, a)$ 

```

The algorithm maintains a dual variable α_j for each client j , a set X of temporarily leased facilities, and a set S of the clients whose dual variable still is being increased, which initially is the whole set of clients D . Increasing pauses when: (a) a client reaches an already temporarily leased facility, or (b) the sum of the contributions towards a facility lease pays for its cost, or (c) the dual variable reaches the penalty cost for some client. We then add to X the facilities that reach condition (b), and remove from S the clients that reach some temporarily leased facility or whose dual variable pays for the penalty cost, and then proceed increasing the remaining dual variables until S becomes empty.

After this phase, we build an interference graph G_X between the facility leases in X . Graph G_X has vertex set X and has an edge between facilities f and f' if there is some client that reaches both f and f' . Then, we sort set X in non-increasing order of lease duration and build a maximal independent set X' in a greedy manner; i.e., we visit set X in that order and add a facility f to X' if there is no other facility lease $f' \in X'$ reached by some client that reaches f . Thus X' satisfies the following properties:

1. Every client reaches at most one facility lease in X' ;
2. If f and f' in X are reached by the same client j , and if $f' \in X'$, then $\delta_f \leq \delta_{f'}$.

Note that there may be some client j that reaches some f in X but is not covered by any facility lease in X' . However, remember that some $f' \in X'$ shares a reaching client j' with f , thus $\delta_f \leq \delta_{f'}$ and the intervals covered by facility leases f and f' overlap. Then, we buy \hat{X} , which has three copies of f' , beginning at instants $t_{f'} - \delta_{f'}$, $t_{f'}$ and $t_{f'} + \delta_{f'}$. Thus, the interval formed by those three facilities, which is $[t_{f'} - \delta_{f'}, t_{f'} + 2\delta_{f'}]$, is a superset of interval $[t_f, t_f + \delta_f]$, and therefore one of the facility leases covers t_j .

Finally, if some client j does not reach any facility lease in X , then its dual variable pays for its penalty and we set $a(j)$ to null.

Note that, although the number of potential facility leases is infinite, the algorithm may be implemented in polynomial time in the input size: it is enough to consider, for every facility point, a lease beginning at each instant in which we have a client.

We omit the proof of the following theorem due to space constraints.¹

Theorem 1: *Algorithm PRIMAL-DUAL-FLEP is a 3-approximation.*

4. Conclusion and Future Work

We give a 3-approximation algorithm for the facility leasing problem with penalties. Future work may include studying leasing variants of other facility location problems.

References

- Charikar, M., Khuller, S., Mount, D. M., and Narasimhan, G. (2001). Algorithms for facility location problems with outliers. In *SODA'01: Proceedings of the 12th Annual ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms*, pages 642–651.
- Li, S. (2013). A 1.488 approximation algorithm for the uncapacitated facility location problem. *Information and Computation*, 222:45–58.
- Li, Y., Du, D., Xiu, N., and Xu, D. (2015). Improved approximation algorithms for the facility location problems with linear/submodular penalties. *Algorithmica*, 73(2):460–482.
- Nagarajan, C. and Williamson, D. P. (2013). Offline and online facility leasing. *Discrete Optimization*, 10(4):361–370.
- Sviridenko, M. (2002). An improved approximation algorithm for the metric uncapacitated facility location problem. In *Integer Programming and Combinatorial Optimization*, volume 2337 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 240–257.

¹A proof is available at <http://www.ime.usp.br/~mslima/appendix-etc2017.pdf>.

Número de Ramsey relativo a arestas de potências de caminhos

Dennis Clemens¹, Matthew Jenssen², Yoshiharu Kohayakawa⁴, Natasha Morrison⁵,
Guilherme Oliveira Mota^{3,4}, Damian Reding¹, Barnaby Roberts²

¹Technische Universität Hamburg, Institut für Mathematik
Hamburg, Germany

²Department of Mathematics, London School of Economics
London, United Kingdom

³Centro de Matemática, Computação e Cognição, Universidade Federal do ABC
Santo André, Brazil

⁴Instituto de Matemática e Estatística, Universidade de São Paulo
São Paulo, Brazil

⁵Mathematical Institute, University of Oxford
Oxford, United Kingdom

{dennis.clemens|damian.reding}@tuhh.de,

{m.o.jenssen|b.j.roberts}@lse.ac.uk,

{yoshi|mota}@ime.usp.br, morrison@maths.ox.ac.uk

Abstract. Given graphs G and H and a positive integer q we say that G is q -Ramsey for H if every q -colouring of the edges of G contains a monochromatic copy of H , denoted $G \rightarrow (H)_q$. The size-Ramsey number $\hat{r}(H)$ of a graph H is defined to be $\hat{r}(H) = \min\{|E(G)| : G \rightarrow (H)_2\}$. Answering a question suggested by Conlon, we prove that $\hat{r}(P_n^k) = O(n)$ for every fixed k , where P_n^k is the k th power of the n -vertex path P_n , i.e., the graph with vertex set $V(P_n)$ and all edges $\{u, v\}$ such that the distance between u and v in P_n is at most k .

Resumo. Dados grafos G e H e um inteiro positivo q , dizemos que G é q -Ramsey para H se toda q -coloração das arestas de G contém uma cópia monocromática de H . Denotamos essa propriedade por $G \rightarrow (H)_q$. O número de Ramsey relativo a arestas $\hat{r}(H)$ de um grafo H é definido como $\hat{r}(H) = \min\{|E(G)| : G \rightarrow (H)_2\}$. Respondendo uma pergunta sugerida por Conlon, provamos que $\hat{r}(P_n^k) = O(n)$ para todo k fixo, onde P_n^k é a k -ésima potência do caminho com n vértices P_n , i.e., o grafo com conjunto de vértices $V(P_n)$ e todas as arestas $\{u, v\}$ tais que a distância entre u e v em P_n é no máximo k .

O terceiro autor foi apoiado pela FAPESP (2013/03447-6, 2013/07699-0), pelo CNPq (459335/2014-6, 310974/2013-5) e pelo Projeto MaCLinC/USP. O quinto autor foi apoiado pela FAPESP (2013/11431-2, 2013/03447-6) e parcialmente pelo CNPq (459335/2014-6). A colaboração de parte dos autores foi apoiada pelo projeto CAPES/DAAD PROBRAL (430/15). Essa pesquisa foi realizada enquanto os autores participavam do *ATI-HIMR Focused Research Workshop: Large-scale structures in random graphs*

1. Introdução

Dados grafos G e H e um inteiro positivo q , dizemos que G é q -Ramsey para H se toda q -coloração das arestas de G contém uma cópia monocromática de H . Denotamos essa propriedade por $G \rightarrow (H)_q$. Quando $q = 2$, escrevemos simplesmente $G \rightarrow H$. Em sua forma mais simples, o clássico Teorema de Ramsey [Ramsey 1930] afirma que para qualquer grafo H existe um inteiro N tal que $K_N \rightarrow H$. O número de Ramsey $r(H)$ de um grafo H é definido como o menor tal inteiro N . Problemas em Teoria de Ramsey tem sido bastante estudados e muitas técnicas elegantes têm sido desenvolvidas para estimar os números de Ramsey. O trabalho de Conlon, Fox e Sudakov [Conlon et al. 2015] contém um resumo detalhado dos avanços na área.

Diversas variantes do clássico problema de Ramsey foram introduzidas e continuam a ser muito estudadas (uma boa introdução a esses problemas relacionados pode ser vista em [Conlon et al. 2015]). Em particular, Erdős, Faudree, Rousseau e Schelp [Erdős et al. 1978] propuseram o problema de determinar a menor quantidade de arestas em um grafo G tal que $G \rightarrow H$. Mais precisamente, definimos o número de Ramsey relativo a arestas de H , denotado por $\hat{r}(H)$, como $\hat{r}(H) = \min\{|E(G)| : G \rightarrow H\}$. Aqui estamos interessados em problemas envolvendo estimar $\hat{r}(H)$.

Para qualquer grafo H , temos o limitante óbvio $\hat{r}(H) \leq \binom{r(H)}{2}$. Um resultado de Chvátal (veja, e.g., [Erdős et al. 1978]) garante que esse é o valor correto para o número de Ramsey relativo a arestas de grafos completos, i.e., $\hat{r}(K_n) = \binom{r(K_n)}{2}$.

Considerando o caminho P_n com n vértices, Erdős [Erdős 1981] fez a seguinte pergunta: é verdade que $\lim_{n \rightarrow \infty} (\hat{r}(P_n)/n) = \infty$ e $\lim_{n \rightarrow \infty} (\hat{r}(P_n)/n^2) = 0$? Utilizando uma construção probabilística, Beck [Beck 1983] provou que o número de Ramsey relativo a arestas de caminhos é linear, i.e., $\hat{r}(P_n) = O(n)$. Em [Alon and Chung 1988] é fornecida uma construção explícita de um grafo G com $O(n)$ arestas tal que $G \rightarrow P_n$. Recentemente, Dudek e Prałat [Dudek and Prałat 2015] obtiveram uma prova alternativa para esse resultado (veja também [Letzter 2016]). Mais geralmente, Friedman e Pippenger [Friedman and Pippenger 1987] provaram que número de Ramsey relativo a arestas de árvores com grau máximo limitado é linear (veja também [Dellamonica 2012, Haxell and Kohayakawa 1995, Ke 1993]) e foi mostrado em [Haxell et al. 1995] que circuitos também tem número de Ramsey relativo a arestas linear.

Respondendo uma questão colocada por Beck [Beck 1990] (negativamente), que perguntou se $\hat{r}(G)$ é linear para todos os grafos G com grau máximo limitado, Rödl e Szemerédi mostraram que existe um grafo H com n vértices e grau máximo 3 tal que $\hat{r}(H) = \Omega(n \log^{1/60} n)$. O melhor limitante superior conhecido atualmente para grafos com grau máximo limitado é provado em [Kohayakawa et al. 2011], onde é provado que para todo Δ existe uma constante c tal que para qualquer grafo H com n vértices e grau máximo Δ temos

$$\hat{r}(H) \leq cn^{2-1/\Delta} \log^{1/\Delta} n.$$

Resultados adicionais sobre o número de Ramsey relativo a arestas podem ser vistos em [Ben-Eliezer et al. 2012, Kohayakawa et al. 2016, Reimer 2002].

Dado um grafo H com n vértices e um inteiro $k \geq 2$, a k -ésima potência H^k de H é o grafo com conjunto de vértices $V(H)$ e todas as arestas $\{u, v\}$ tais que a distância entre u e v em H é no máximo k . Respondendo uma questão sugerida por

Conlon [Conlon 2016], provamos que o número de Ramsey de potências relativo a arestas de caminhos é linear. O seguinte teorema é o nosso resultado principal.

Teorema 1. *Para todo inteiro $k \geq 2$, temos $\hat{r}(P_n^k) = O(n)$.*

Note que dado o circuito C_n com n vértices, temos $C_n^k \subseteq P_n^{2k}$. Assim, o seguinte corolário segue diretamente do Teorema 1.

Corolário 2. *Para todo inteiro $k \geq 2$, temos $\hat{r}(C_n^k) = O(n)$.*

2. Ideia da prova do Teorema 1

Para provar o Teorema 1 precisamos mostrar que existe um grafo G com $O(n)$ arestas tal que $G \rightarrow P_n^k$. Primeiramente, mostramos que existe um grafo H com quantidade linear de arestas e grau máximo limitado por uma constante tal que existe uma aresta entre quaisquer subconjuntos suficientemente grandes de $V(H)$. Seja t uma constante suficientemente grande com relação a k . Vamos considerar o “blow-up” completo H_t^k da k -ésima potência H^k de H , i.e., o grafo obtido pela troca de cada vértice v de H^k por um grafo completo com $r(K_t)$ vértices, a classe $C(v)$, e pela adição de, para cada aresta $\{u, v\} \in E(H^k)$, todas as arestas entre $C(u)$ e $C(v)$. Note que H_t^k tem uma quantidade linear de arestas.

Seja $\chi: E(H_t^k) \rightarrow \{\text{vermelha}, \text{azul}\}$ uma coloração das arestas de H_t^k . Vamos mostrar que H_t^k contém uma cópia monocromática de P_n^k sob χ . Como toda classe $C(v)$ de H_t^k contém $r(K_t)$ vértices, então cada classe contém uma cópia monocromática $B(v)$ de K_t . Sem perda de generalidade, o conjunto $W := \{v \in V(H) : B(v) \text{ é azul}\}$ tem cardinalidade pelo menos $v(H)/2$. Seja $F := H[W]$ o subgrafo de H induzido por W , e seja F' o subgrafo de $F_t^k \subseteq H_t^k$ induzido por $\bigcup_{w \in W} V(B(w))$. Dada a coloração χ acima, definimos a coloração auxiliar χ' de $E(F^k)$ como segue: uma aresta $\{u, v\} \in E(F^k)$ é colorida com a cor *azul* se o subgrafo bipartido $F'[V(B(u)), V(B(v))]$ de F' naturalmente induzido pelos conjuntos $V(B(u))$ e $V(B(v))$ contém um $K_{2k, 2k}$ azul. Caso contrário $\{u, v\}$ é colorida com a cor *vermelha*.

Utilizando o Teorema 1.7 de [Pokrovskiy 2017], mostramos que toda 2-coloração de $E(F^k)$ contém ou uma cópia azul de P_n ou uma cópia vermelha da k -ésima potência P_n^k de P_n . No primeiro caso, não é difícil encontrar uma cópia azul de P_n^k em H_t^k . O segundo caso é um pouco mais complicado, mas explorando as propriedades estruturais de H_t^k é possível combinar o clássico Teorema de Kővári–T. Sós–Turán [Kővári et al. 1954] com uma aplicação do lema local [Erdős and Lovász 1975, p. 616] para obter uma cópia vermelha de P_n^k em H_t^k . Detalhes dessa prova serão dados na versão completa deste trabalho.

Referências

- Alon, N. and Chung, F. R. K. (1988). Explicit construction of linear sized tolerant networks. *Discrete Math.*, 72(1-3):15–19.
- Beck, J. (1983). On size Ramsey number of paths, trees, and circuits. I. *J. Graph Theory*, 7(1):115–129.
- Beck, J. (1990). On size Ramsey number of paths, trees and circuits. II. In *Mathematics of Ramsey theory*, volume 5 of *Algorithms Combin.*, pages 34–45. Springer, Berlin.

- Ben-Eliezer, I., Krivelevich, M., and Sudakov, B. (2012). The size Ramsey number of a directed path. *J. Combin. Theory Ser. B*, 102(3):743–755.
- Conlon, D. (2016). Problema sugerido para o *ATI–HIMR Focused Research Workshop: Large-scale structures in random graphs*, Alan Turing Institute, Dezembro de 2016.
- Conlon, D., Fox, J., and Sudakov, B. (2015). Recent developments in graph Ramsey theory. In *Surveys in combinatorics 2015*, volume 424 of *London Math. Soc. Lecture Note Ser.*, pages 49–118. Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- Dellamonica, Jr., D. (2012). The size-Ramsey number of trees. *Random Structures Algorithms*, 40(1):49–73.
- Dudek, A. and Prałat, P. (2015). An alternative proof of the linearity of the size-Ramsey number of paths. *Combin. Probab. Comput.*, 24(3):551–555.
- Erdős, P. (1981). On the combinatorial problems which I would most like to see solved. *Combinatorica*, 1(1):25–42.
- Erdős, P., Faudree, R. J., Rousseau, C. C., and Schelp, R. H. (1978). The size Ramsey number. *Period. Math. Hungar.*, 9(1-2):145–161.
- Erdős, P. and Lovász, L. (1975). Problems and results on 3-chromatic hypergraphs and some related questions. In *Infinite and finite sets (Colloq., Keszthely, 1973; dedicated to P. Erdős on his 60th birthday)*, Vol. II, pages 609–627. Colloq. Math. Soc. János Bolyai, Vol. 10. North-Holland, Amsterdam.
- Friedman, J. and Pippenger, N. (1987). Expanding graphs contain all small trees. *Combinatorica*, 7(1):71–76.
- Haxell, P. E. and Kohayakawa, Y. (1995). The size-Ramsey number of trees. *Israel J. Math.*, 89(1-3):261–274.
- Haxell, P. E., Kohayakawa, Y., and Łuczak, T. (1995). The induced size-Ramsey number of cycles. *Combin. Probab. Comput.*, 4(3):217–239.
- Ke, X. (1993). The size Ramsey number of trees with bounded degree. *Random Structures Algorithms*, 4(1):85–97.
- Kohayakawa, Y., Retter, T., and Rödl, V. (2016). The size-Ramsey number of short subdivisions of bounded degree graphs. Submitted, 2016.
- Kohayakawa, Y., Rödl, V., Schacht, M., and Szemerédi, E. (2011). Sparse partition universal graphs for graphs of bounded degree. *Adv. Math.*, 226(6):5041–5065.
- Kővári, T., Sós, V. T., and Turán, P. (1954). On a problem of K. Zarankiewicz. *Colloquium Math.*, 3:50–57.
- Letzter, S. (2016). Path Ramsey number for random graphs. *Combin. Probab. Comput.*, 25(4):612–622.
- Pokrovskiy, A. (2017). Calculating Ramsey numbers by partitioning colored graphs. *Journal of Graph Theory*, 84(4):477–500.
- Ramsey, F. P. (1930). On a problem of formal logic. *Proc. London Math. Soc.*, S2-30(1):264.
- Reimer, D. (2002). The Ramsey size number of dipaths. *Discrete Math.*, 257(1):173–175.

Biclique edge-choosability in some classes of graphs*

Gabriel A. G. Sobral¹, Marina Groshaus², André L. P. Guedes¹

¹Department of Informatics - Federal University of Paraná (UFPR)
Curitiba - PR - Brasil

²CONICET
Buenos Aires, Argentina

{gagsobral, andre}@inf.ufpr.br, marinagroshaus@yahoo.es

Abstract. *In this paper we study the problem of coloring the edges of a graph for any k -list assignment such that there is no maximal monochromatic biclique, in other words, the k -biclique edge-choosability problem. We prove that the K_3 -free graphs that are not odd cycles are 2-star edge-choosable, chordal bipartite graphs are 2-biclique edge-choosable and we present a lower bound for the biclique choice index of power of cycles and power of paths. We also provide polynomial algorithms to compute a 2-biclique (star) edge-coloring for K_3 -free and chordal bipartite graphs for any given 2-list assignment to edges.*

1. Introduction

There are many problems related to coloring graphs. In this work we define an edge-coloring problem called the k -biclique edge-choosability problem. We call a *biclique* an induced complete bipartite subgraph and if a maximal biclique is colored only with one color then we say it's a *maximal monochromatic biclique*.

The first related problem was studied by Pablo Terlisky in his master thesis in 2010 [Terlisky 2010]. He defined the k -biclique coloring analogously to the k -clique coloring problem, studied by Dániel Marx [Marx 2011], as coloring the vertices of a graph with k colors such that there is no maximal monochromatic biclique. A *biclique* can be defined as a induced maximal complete bipartite subgraph. Terlisky proved that the k -biclique coloring problem is Σ_2^P -complete in general case for $k \geq 2$. Furthermore Hélio B. Macedo Filho et al. [Figueiredo et al. 2013] showed that to verify if a power of a cycle or a power of a path is biclique colorable is $\text{co}\mathcal{NP}$ -complete.

Also, the k -biclique coloring problem was studied in the context of list coloring by Marina Groshaus et al. in 2012 [Soulignac et al. 2012]. They showed that k -biclique choosability and k -star choosability are Π_3^P -complete for $k > 2$ in general case. A power of a path P_n^k is graph with n vertices which $\{v_i, v_j\} \in E(P_n^k)$ if and only if $|i - j| \leq k$. And a power of a cycle C_n^k is a graph with n vertices which $\{v_i, v_j\} \in E(C_n^k)$ if and only if $\min\{(j - i) \bmod n, (i - j) \bmod n\} \leq k$. Note that a P_n^k is a subgraph of C_n^k .

When focus on coloring edges of the graph, the natural k -biclique edge-coloring problem arises. It was defined by Dantas et al. as coloring the edges of a graph with k colors such that there is no maximal monochromatic biclique [Guedes et al. 2017]. They proved that the 2-biclique edge-coloring problem is \mathcal{NP} -Hard in the general case, K_3 -free

*Partially supported by CAPES/MathAmSud 021/14, ANPCyT PICT-2013-2205 and CONICET.

graphs that are not odd cycles are 2-star edge-colorable, chordal bipartite are 2-biclique edge-colorable and power of paths and power of cycles are biclique edge-colorable using at most 4 colors. A graph is chordal bipartite if there is a perfect edge without vertex elimination ordering, which each removed edge induces a biclique.

A natural question that arises is what happens when Dantas et al. results are considered in the context of list coloring. Given a graph G and a list color assignment L to its edges, G is L -biclique edge-colorable if each edge of G can be colored using one color from its list such that the (non trivial) bicliques of G are not monochromatic. The k -biclique edge-choosability problem is to decide if a given graph G is L -biclique edge-colorable for every list color assignment L with k colors to each edge. The *biclique choice index* of a graph G ($ch'_B(G)$) is the minimum k such that G is k -biclique edge-choosable. As the star is specific case of biclique then the k -star edge-choosability problem can be defined analogously just replacing biclique by star. Since a graph choice index is at least equals to its chromatic index [Rubin et al. 1979], then it is important to check the relationship of graph biclique chromatic index and its biclique choice index. Therefore the objective of this paper is to extend Dantas et al. results to list coloring context by studying the k -biclique edge-choosability problem.

We prove that the K_3 -free graphs that are not odd cycles are 2-star edge-choosable, chordal bipartite are 2-biclique edge-choosable and present a lower bound for the biclique choice index of power of cycles and power of paths.

2. Star edge-choosability problem in K_3 -free graphs

In this section we are going to show that K_3 -free graphs not isomorphic to odd cycles, are 2-star edge-choosable and provide a polynomial time algorithm to compute a 2-star edge-coloring. The odd cycles are forbidden since in this case a proper edge coloring is equivalent to color the edges of the graph such that there is no maximal monochromatic star ($K_{1,r}$). However odd cycles are not 2-edge-colorable then they are not 2-star edge-choosable.

Theorem 1. *The K_3 -free graphs not isomorphic to odd cycles, are 2-star edge-choosable.*

Proof. Let G be a connected (otherwise use each connected component) K_3 -free graph not isomorphic to any odd cycle. If G is an even cycle then coloring its edges is equivalent to color the stars of G . As even cycles are 2-choosable [Rubin et al. 1979] then G is 2-star edge-choosable. Otherwise, G is not an even cycle, then we show that G is 2-star edge-choosable by giving an algorithm for coloring the edges of the graph.

If there is a vertex v with degree 1, consider a depth first search (DFS) of G started at v . In that way there are no return edges to the root v . If there is no vertex of degree 1, then there is a cycle $C = (v_1, \dots, v_\ell)$. Assuming G is not a cycle, there is a vertex of C that has a neighbor, w , outside the C . Suppose w.l.o.g. that v_ℓ is that vertex. Consider a DFS started at v_1 such that v_2, \dots, v_ℓ appear in that sequence and before w . In that case, there is at least a returning edge $\{v_\ell, v_1\}$ (the root) and v_ℓ is not a leaf of the DFS.

We color the tree edges with a color different from the edge that is above in the tree, since the list has size 2 this assignment is always possible. After that, the stars centered at vertex that are not the root or a leaf of the DFS are already not monochromatic.

If the root has degree 1, its star is trivial. Otherwise, if the star centered at the root is still monochromatic, color the return edge $\{v_\ell, v_1\}$ with a different color. For the stars centered at leaves of the DFS with return edges, choose one of its return edges and color with a different color. Every non trivial star is not monochromatic. The remaining return edges are colored with any color since all the stars are already colored with at least two colors. We assure that every maximal star has two colors and then G is 2-star edge-choosable. \square

Since it is a DFS, the algorithm runs in polynomial time.

3. Biclique edge-choosability in chordal bipartite graphs

In this section we prove that every chordal bipartite graph is 2-biclique edge-choosable and we also give a polynomial time algorithm to compute a 2-biclique edge-coloring.

Theorem 2. *Every chordal bipartite graph is 2-biclique edge-choosable.*

Proof. We are going to show that every chordal bipartite graph G is 2-biclique edge-choosable by assigning inductively a color to an edge e_i using its *perfect edge-without-vertex elimination ordering* (e_1, \dots, e_m) [Kratsch and Kloks 1995]. The base case is when $|E(G)| = 2$ and in this case it is always possible to set a different color to each of the edges. By inductive hypothesis we have that $G_{i-1} \setminus e_i$ is 2-biclique edge-choosable. As e_i is bisimplicial then e_i belongs only to one biclique, so it is enough to set a color to e_i different from the edges of the biclique which contains e_i , if it is still monochromatic. And since the order (e_1, \dots, e_m) traverses all bicliques of G , then when a color is set to e_1 there is no monochromatic biclique for any 2-list assignment and thus G is 2-biclique edge-choosable. \square

As the naive method to find a bisimplicial edge (the vertices of an edge induces a complete bipartite graph) takes $O(|E|^2)$ steps then the algorithm to compute a 2-biclique edge-coloring is $O(|E|^3)$.

4. Biclique edge-choosability in power of paths and power of cycles

In this section we are going to present a lower bound for the biclique choice index of power of cycles and power of paths, that is, the $ch'_B(C_n^k)$ is the maximum between 2 and a natural $\alpha > 0$. We remark that the power of paths are sub-graphs of power of cycles when we remove the edges from the last k vertices to the first k vertices of the graph.

Theorem 3. *The biclique choice index $ch'_B(C_n^k) > \max\{2, \alpha\}$, if $k \geq 2$, $n > 4k$ and $\lceil \frac{k}{2} \rceil \geq \binom{2\alpha-1}{\alpha}$.*

Proof. Let H be the a graph defined by $V(H) = \{v_{ij} \mid \{v_i, v_j\} \in E(C_n^k)\}$ and $E(H) = \{\{v_{ij}, v_{jl}\} \mid \{v_i, v_l\} \notin E(C_n^k)\}$, that is, v_i, v_j and v_l induce a P_3 of C_n^k . We are going to show that $ch'_B(C_n^k) > \max\{2, \alpha\}$, if $k \geq 2$, $n > 4k$ and $\lceil \frac{k}{2} \rceil \geq \binom{2\alpha-1}{\alpha}$, by proving that if H is not α -choosable then C_n^k is not α -biclique edge-choosable, and that H is not α -choosable.

As $n > 4k$ then C_n^k maximal bicliques are P_3 and an edge of H is equivalent to a biclique of C_n^k . A vertex coloring of H is an edge coloring of C_n^k such that the bicliques

are not monochromatic. Note that by definition of H the degree of any vertex $v_{ij} \in H$ is $d_G(v_{i,j}) = 2(\min\{(j-i) \bmod n, (i-j) \bmod n\})$ and $\delta(H) = 2$ and $\Delta(H) = 2k$. Since H is not a K_1 , nor an even cycle, nor a $\theta_{2,2,2c}$, for an integer c , then H is not 2-choosable [Rubin et al. 1979] and thus $ch'_B(C_n^k) > 2$.

Also note that the resulting graph H has a $K_{\lceil \frac{k}{2} \rceil, \lceil \frac{k}{2} \rceil}$ as an induced subgraph. Since a complete bipartite graph $K_{m,m}$ is not α -choosable for $m \geq \binom{2\alpha-1}{\alpha}$ [Rubin et al. 1979] then H is not α -choosable for $\lceil \frac{k}{2} \rceil \geq \binom{2\alpha-1}{\alpha}$ and thus C_n^k is not α -biclique edge-choosable for $\lceil \frac{k}{2} \rceil \geq \binom{2\alpha-1}{\alpha}$. \square

Corollary 4. *The biclique choice index $ch'_B(P_n^k) > \max\{2, \alpha\}$, if $k \geq 2$, $n > 2k$ and $\lceil \frac{k}{2} \rceil \geq \binom{2\alpha-1}{\alpha}$.*

Proof. As the power of paths are a specific case of power of cycles then we can use the proof of Theorem 3 to conclude that $ch'_B(P_n^k) > \max\{2, \alpha\}$, if $k \geq 2$, $n > 2k$ and $\lceil \frac{k}{2} \rceil \geq \binom{2\alpha-1}{\alpha}$. \square

5. Conclusion

In this paper we study the k -biclique-edge coloring choosability problem for some classes of graphs. We prove that K_3 -free graphs are 2-star edge-choosable, chordal bipartite are 2-biclique edge-choosable and are not 2-biclique edge-choosable and present a lower bound for the biclique choice index of power of cycles and power of paths. We remark that these last result is not tight. We provide polynomial algorithms to find 2-biclique (star) edge-coloring for K_3 -free graphs and chordal bipartite graphs.

References

- Figueiredo, C. M. H., Filho, H. B. M., Machado, R. C. S., and Dantas, S. (2013). Biclique-colouring verification complexity and biclique-colouring power graphs. *Discrete Applied Mathematics*, 192:65–76.
- Guedes, A., Ries, B., Sasaki, D., Groshaus, M., Machado, R. C. S., and Dantas, S. (2017). On star and biclique edge-colorings. *International Transactions in Operational Research*, 24(1-2):339–346.
- Kratsch, D. and Kloks, T. (1995). Computing a perfect edge without vertex elimination ordering of a chordal bipartite graph. *Information Processing Letters*, 55:11–16.
- Marx, D. (2011). Complexity of clique coloring and related problems. *Theoretical Computer Science*, 412:3487–3500.
- Rubin, A. L., Taylor, H., and Erdős, P. (1979). Choosability in graphs. *Congr. Numer*, 26:125–157.
- Southern, F. J., Groshaus, M., and Terlisky, P. (2012). The star and biclique coloring and choosability problems. *Journal of Graph Algorithms and Applications*, 18:347–383.
- Terlisky, P. (2010). Biclique-coloreo de grafos. Master's thesis, Universidad de Buenos Aires.

Advances in anti-Ramsey theory for random graphs

Guilherme Oliveira Mota^{1,2}

¹Centro de Matemática, Computação e Cognição, Universidade Federal do ABC
Santo André, Brazil

²Instituto de Matemática e Estatística, Universidade de São Paulo
São Paulo, Brazil

mota@ime.usp.br

Abstract. Given graphs G and H , we denote the following property by $G \xrightarrow{rb} H$: for every proper edge-colouring of G (with an arbitrary number of colours) there is a rainbow copy of H in G , i.e., a copy of H with no two edges of the same colour. It is known that, for every graph H , the threshold function $p_H^{rb} = p_H^{rb}(n)$ of this property for the binomial random graph $G(n, p)$ is asymptotically at most $n^{-1/m^{(2)}(H)}$, where $m^{(2)}(H)$ denotes the so-called maximum 2-density of H . In this work we discuss this and some recent results in the study of anti-Ramsey properties in random graphs, and we prove that if $H = C_4$ or $H = K_4$ then $p_H^{rb} < n^{-1/m^{(2)}(H)}$, which is in contrast with the known facts that $p_{C_k}^{rb} = n^{-1/m^{(2)}(C_k)}$ for $k \geq 7$, and $p_{K_\ell}^{rb} = n^{-1/m^{(2)}(K_\ell)}$ for $k \geq 19$.

Resumo. Dados grafos G e H , denotamos a seguinte propriedade por $G \xrightarrow{rb} H$: para toda coloração própria das arestas de G (com uma quantidade arbitrária de cores) existe uma cópia multicolorida de H em G , i.e., uma cópia de H sem duas arestas da mesma cor. Sabe-se que, para todo grafo H , a função limiar $p_H^{rb} = p_H^{rb}(n)$ para essa propriedade no grafo aleatório binomial $G(n, p)$ é assintoticamente no máximo $n^{-1/m^{(2)}(H)}$, onde $m^{(2)}(H)$ denota a assim chamada 2-densidade máxima de H . Neste trabalho discutimos esse e alguns resultados recentes no estudo de propriedades anti-Ramsey para grafos aleatórios, e mostramos que se $H = C_4$ ou $H = K_4$ então $p_H^{rb} < n^{-1/m^{(2)}(H)}$, que está em contraste com os fatos conhecidos de que $p_{C_k}^{rb} = n^{-1/m^{(2)}(C_k)}$ para $k \geq 7$, e $p_{K_\ell}^{rb} = n^{-1/m^{(2)}(K_\ell)}$ para $k \geq 19$.

1. Introduction

Let r be a positive integer and let G and H be graphs. We denote by $G \rightarrow (H)_r$ the property that any colouring of the edges of G with at most r colours contains a monochromatic copy of H in G . In 1995, Rödl and Ruciński determined the threshold for the property $G(n, p) \rightarrow (H)_r$ for all graphs H . The maximum 2-density $m^{(2)}(H)$ of a graph H is denoted by $m^{(2)}(H) = \max \left\{ \frac{|E(J)|-1}{|V(J)|-2} : J \subset H, |V(J)| \geq 3 \right\}$, where we suppose $|V(H)| \geq 3$.

The author was supported by FAPESP (2013/11431-2, 2013/03447-6) and partially by CNPq (459335/2014-6). The author acknowledges the support of CAPES/DAAD PROBRAL (430/15).

Theorem 1 (Rödl and Ruciński [Rödl and Ruciński 1993, Rödl and Ruciński 1995]). *Let H be a graph containing a cycle. Then, the threshold function $p_H = p_H(n)$ for the property $G(n, p) \rightarrow (H)_r$ is given by $p_H(n) = n^{-1/m^{(2)}(H)}$.*

Given a graph H , we are interested in the following ‘anti-Ramsey’ type properties of the random graph $G = G(n, p)$, denoted by $G \xrightarrow[p]{\text{rb}} H$: for every proper edge-colouring of G , there exists a rainbow copy of H in G , i.e., a copy of H with no two edges of the same colour. The term ‘anti-Ramsey’ is used in different contexts, but we follow the terminology used in [Kohayakawa et al. 2014, Kohayakawa et al. 2017, Nenadov et al. 2017, Rödl and Tuza 1992]. Since the property $G(n, p) \xrightarrow[p]{\text{rb}} H$ is increasing for every fixed graph H , we know that it admits a threshold function $p_H^{\text{rb}} = p_H^{\text{rb}}(n)$ [Bollobás and Thomason 1987].

The study of anti-Ramsey properties of random graphs was initiated by Rödl and Tuza, who proved in [Rödl and Tuza 1992] that for every ℓ there exists a fairly small p , such that $G(n, p) \xrightarrow[p]{\text{rb}} C_\ell$ almost surely. In fact, this result answers positively a question posed by Spencer (see [Erdős 1979], p. 29), who asked whether there are graphs of arbitrarily large girth that contain a rainbow cycle in any proper edge-colouring. We obtained the following result, which implies that $p_H^{\text{rb}} \leq n^{-1/m^{(2)}(H)}$ for any fixed graph H .

Theorem 2 (Kohayakawa, Konstantinidis and Mota [Kohayakawa et al. 2014]). *If H is a fixed graph, then there exists a constant $C > 0$ such that for $p = p(n) \geq Cn^{-1/m^{(2)}(H)}$ we asymptotically almost surely have $G(n, p) \xrightarrow[p]{\text{rb}} H$.*

The proof of Theorem 2 combines ideas from the regularity method for sparse graphs (see, e.g., [Kohayakawa 1997, Kohayakawa and Rödl 2003, Szemerédi 1978]) and a characterization of quasi-random sparse graphs (see, e.g., [Chung and Graham 2008]). This result was the beginning of a systematic study about anti-Ramsey problems in random graphs. In [Kohayakawa et al. 2017] we proved that for an infinite family of graphs F we have $p_F^{\text{rb}} \ll n^{-1/m^{(2)}(F)}$, which is in contrast with Theorem 1. Before state this result precisely we need one more definition: given a graph H with $m^{(2)}(H) < 2$, put $\beta(H, K_3) = \frac{1}{3} \left(1 + \frac{1}{m^{(2)}(H)} \right)$. Theorem 3 below makes the discussion above precise.

Theorem 3. *Suppose $k \geq 4$ and let F be the $(k + 1)$ -vertex graph composed by a k -vertex graph H with $1 < m^{(2)}(H) < 2$ and a vertex outside of H that is adjacent to two adjacent vertices of H . Then, for a suitably large constant D , if $p \geq Dn^{-\beta(H, K_3)}$, then $G(n, p) \xrightarrow[p]{\text{rb}} F$ almost surely.*

We can easily conclude that for graphs F as in the statement of Theorem 3 we have $p_F^{\text{rb}} \ll n^{-1/m^{(2)}(F)}$ since one can check that $1/m^{(2)}(F) = 1/m^{(2)}(K_3) = 1/2 < \beta(H, K_3) < 1/m^{(2)}(H)$. This makes the following question interesting: What are the graphs H for which $p_H^{\text{rb}} = n^{-1/m^{(2)}(H)}$? Recently, some progress in answering this question was made in [Nenadov et al. 2017], which proved the following result.

Theorem 4 (Nenadov, Person, Škorić and Steger [Nenadov et al. 2017]). *Let H be a cycle on at least 7 vertices or a complete graph on at least 19 vertices. Then $p_H^{\text{rb}} = n^{-1/m^{(2)}(H)}$.*

The authors of Theorem 4 remarked that their result could hold for all cycles and cliques of size at least 4. We conjecture that Theorem 4 can indeed be extended to cycles

and cliques of size at least 5, but not for C_4 and K_4 . In fact, we show that if H is C_4 or K_4 , then p_H^{rb} is asymptotically smaller than $n^{-1/m^{(2)}(H)}$.

Theorem 5. *We have $p_{C_4}^{\text{rb}} = n^{-3/4}$ and $p_{K_4}^{\text{rb}} = n^{-7/15}$.*

In what follows we give a brief outline of the proof of Theorem 5 for cycles C_4 . We remark that the proof for K_4 makes use of similar techniques.

2. Brief outline of the proof of Theorem 5 for C_4

First, we consider the *density* $m(H)$ of a graph H , defined as $m(H) = \max \left\{ \frac{|E(J)|}{|V(J)|} : J \subset H, |V(J)| \geq 1 \right\}$. We will use of the following result.

Theorem 6 (Bollobás [Bollobás 2001]). *Let H be a fixed graph. Then, $p = n^{-1/m(H)}$ is the threshold for the property that G contains a copy of H .*

Note that for proving the upper bounds it is enough to show that $G(n, p)$ a.s. contains a small graph that forces a rainbow copy of the given graphs in any proper edge-colouring. Since the proof for the upper bounds are much simpler than the proof for the lower bounds, we give the full proof of the upper bound in the case of C_4 .

Upper bound for $p_{C_4}^{\text{rb}}$.

Consider the complete bipartite graph $K_{2,4}$ with partition classes $\{a, b\}$ and $\{w, x, y, z\}$. We will first show that any proper colouring of the edges of $K_{2,4}$ contains a rainbow copy of C_4 and then we conclude that for $p \gg n^{-3/4}$ a.s. $G(n, p)$ contains a copy of $K_{2,4}$. Suppose by contradiction that there is a proper colouring χ of $E(K_{2,4})$ with no rainbow copy of C_4 . W.l.o.g. let $\chi(aw) = \chi(bx) = 1$ and $\chi(ay) = \chi(bz) = 2$. Since the colouring is proper the edges ax and az get different new colours, say, $\chi(ax) = 3$ and $\chi(az) = 4$. Since the C_4 induced by $\{a, x, b, y\}$ is not rainbow, we have $\chi(by) = 3$. But then the C_4 induced by the vertices $\{a, x, b, z\}$ is rainbow, a contradiction. Therefore, any colouring of the edges of $K_{2,4}$ contains a rainbow C_4 . By Theorem 6, if $p \gg n^{-3/4}$, then a.s. $G(n, p)$ contains a copy of $K_{2,4}$. Therefore, a.s. any proper colouring of the edges of $G(n, p)$ contains a rainbow copy of C_4 , which implies that $p_{C_4}^{\text{rb}} \leq n^{-1/m(K_{2,4})} = n^{-3/4}$.

Lower bound for $p_{C_4}^{\text{rb}}$.

Now let us turn our attention to the lower bounds. Let G and H be graphs. We say that a sequence $F = H_1, \dots, H_\ell$ of H -copies in G is an H -chain if for any $2 \leq i \leq \ell$ we have $E(H_i) \cap (E(H_1), \dots, E(H_{i-1})) \neq \emptyset$. Note that a copy of H in G that does not intersect edge-wise with any other copy of H is a maximal H -chain composed by only one copy of H . Furthermore, the edge sets of two distinct maximal H -chains are disjoint. Thus, it is easy to see that each H in G belongs to exactly one maximal H -chain.

Let $G = G(n, p)$ and let $p \ll n^{-3/4}$. The idea is to prove that a.s. there exists a proper colouring of G that contains no rainbow C_4 . In this proof we will consider C_4 -chains that are maximal with respect to the number of C_4 's. The first and more important step is to colour some edges in all maximal C_4 -chains so that all C_4 's in G will be non-rainbow and this partial colouring will be proper. Then, since all C_4 's are coloured we can just give a new colour for each one of the remaining uncoloured edges. For the first step, we use Markov's inequality and the union bound to obtain that a.s.

$$G \text{ does not contains any graph } H \text{ with } m(H) \geq 4/3 \text{ and } |V(H)| \leq 12. \quad (1)$$

Let $F = C_4^1, \dots, C_4^\ell$ be an arbitrary C_4 -chain in G with $m(F) \geq 4/3$. Let $2 \leq i \leq \ell$ be the smallest index such that $F' = C_4^1, \dots, C_4^i$ has density $m(F') \geq 4/3$. Then, since $F'' = C_4^1, \dots, C_4^{i-1}$ has density $m(F'') < 4/3$, we can explore the structure of $G(n, p)$ to conclude that $|V(F'')| \leq 10$, which implies $|V(F')| \leq 12$, a contradiction with (1). Therefore, a.s. $G(n, p)$ contains no copy of C_4 -chains F with $m(F) \geq 4/3$. Thus, we may assume that all C_4 -chains F of G have density $m(F) < 4/3$. In this case, it is possible to analyze carefully the structure of such chains, obtaining the desired colouring, which proves the claimed result.

References

- Bollobás, B. (2001). *Random graphs*. Cambridge Studies in Advanced Mathematics. Cambridge University Press.
- Bollobás, B. and Thomason, A. (1987). Threshold functions. *Combinatorica*, 7(1):35–38.
- Chung, F. and Graham, R. (2008). Quasi-random graphs with given degree sequences. *Random Structures & Algorithms*, 32(1):1–19.
- Erdős, P. (1979). Some old and new problems in various branches of combinatorics. In *Proc. 10th southeastern conference on combinatorics, graph theory and computing*, pages 19–37, Winnipeg, Man. Utilitas Math.
- Kohayakawa, Y. (1997). Szemerédi’s regularity lemma for sparse graphs. In *Foundations of computational mathematics (Rio de Janeiro, 1997)*, pages 216–230. Springer, Berlin.
- Kohayakawa, Y., Konstantinidis, P. B., and Mota, G. O. (2014). On an anti-Ramsey threshold for random graphs. *European Journal of Combinatorics*, 40:26–41.
- Kohayakawa, Y., Konstantinidis, P. B., and Mota, G. O. (2017). On an anti-ramsey threshold for sparse graphs with one triangle. *Journal of Graph Theory*. In press.
- Kohayakawa, Y. and Rödl, V. (2003). Szemerédi’s regularity lemma and quasi-randomness. In *Recent advances in algorithms and combinatorics*, volume 11 of *CMS Books Math./Ouvrages Math. SMC*, pages 289–351. Springer, New York.
- Nenadov, R., Person, Y., Škorić, N., and Steger, A. (2017). An algorithmic framework for obtaining lower bounds for random Ramsey problems. *J. Combin. Theory Ser. B*, 124:1–38.
- Rödl, V. and Ruciński, A. (1993). Lower bounds on probability thresholds for Ramsey properties. In *Combinatorics, Paul Erdős is eighty, Vol. 1*, Bolyai Soc. Math. Stud., pages 317–346. János Bolyai Math. Soc., Budapest.
- Rödl, V. and Ruciński, A. (1995). Threshold functions for Ramsey properties. *J. Amer. Math. Soc.*, 8(4):917–942.
- Rödl, V. and Tuza, Z. (1992). Rainbow subgraphs in properly edge-colored graphs. *Random Structures Algorithms*, 3(2):175–182.
- Szemerédi, E. (1978). Regular partitions of graphs. In *Problèmes combinatoires et théorie des graphes (Colloq. Internat. CNRS, Univ. Orsay, Orsay, 1976)*, volume 260 of *Colloq. Internat. CNRS*, pages 399–401. CNRS, Paris.

Vertex-disjoint path covers in graphs*

Renzo Gómez

¹Instituto de Matemática e Estatística – Universidade de São Paulo
05508-090 – São Paulo – SP – Brazil

rgomez@ime.usp.br

Abstract. Let G be a connected graph and \mathcal{P} be a set of pairwise vertex-disjoint paths in G . We say that \mathcal{P} is a path cover if every vertex of G belongs to a path in \mathcal{P} . The minimum path cover problem asks for a path cover of minimum cardinality. In this problem, known to be NP-hard, the set \mathcal{P} may contain trivial (single-vertex) paths. We study a variant of this problem in which the objective is to find a path cover without trivial paths. Using the well-known Edmonds-Gallai decomposition, we show that deciding whether a graph contains such kind of path cover can be reduced to a matching problem on a bipartite graph. We also show hardness and inapproximability results for both problems.

Resumo. Seja G um grafo conexo e \mathcal{P} um conjunto de caminhos disjuntos nos vértices em G . Dizemos que \mathcal{P} é uma cobertura por caminhos se cada vértice de G pertence a algum caminho em \mathcal{P} . No problema da cobertura mínima por caminhos, o objetivo é encontrar uma cobertura com o menor número de caminhos. Nesse problema, que é sabido ser NP-difícil, o conjunto \mathcal{P} pode conter caminhos triviais. Estudamos uma variante desse problema onde o objetivo é encontrar uma cobertura sem caminhos triviais. Usando a decomposição de Edmonds-Gallai, mostramos que o problema de decidir se um grafo tem tal cobertura pode ser reduzido a um problema de emparelhamento em um grafo bipartido. Além disso, mostramos resultados de inaproximabilidade para ambos os problemas de cobertura: com e sem caminhos triviais.

1. Introduction

All graphs considered here are simple and undirected. Let G be a graph and P be a path in G . The *length* of P is its number of edges. If P has length k , we say that it is a k -*path*. In the special case when $k = 0$, we also say that P is *trivial*. A set of pairwise vertex-disjoint paths is a *path cover* of G if it spans $V(G)$.

In the MINIMUM PATH COVER (MINPC) problem we want to find a path cover of minimum cardinality. Clearly, deciding whether a graph has a Hamiltonian path is equivalent to deciding whether it has a path cover of cardinality one. Therefore, MINPC is NP-hard in the classes of graphs for which the Hamiltonian path problem is NP-complete, such as cubic planar 3-connected graphs [Garey et al. 1976], circle graphs [Damaschke 1989], split graphs, chordal bipartite graphs [Müller 1996], etc.

*Preliminary results of an ongoing research carried out by the author in his PhD program at IME-USP under the supervision of Yoshiko Wakabayashi. Research supported by CAPES fellowship, FAPESP Project (Proc. 2013/03447-6) and MaCLinC project of NUMEC/USP.

Polynomial-time algorithms have been designed for MINPC on several classes of perfect graphs, such as interval graphs [Arikati and Pandu Rangan 1990], cocomparability graphs [Corneil et al. 2013], trees [Franzblau and Raychaudhuri 2002], etc. This problem is of theoretical, but also of practical interest. It has applications in establishing ring protocols in a network, code optimization and mapping parallel processes to parallel architectures [Moran and Wolfstahl 1991].

Besides studying MINPC, we also study the problem of finding a path cover without trivial paths. First, we consider the problem of the existence of such a path cover. Then, we consider the two optimization problems: the MINIMUM NONTRIVIAL PATH COVER (MINNTPC) and the MAXIMUM NONTRIVIAL PATH COVER (MAXNTPC). In both cases we seek for path covers of optimum cardinality. In the next section, we show that the existence problem and MAXNTPC have a close relation with the maximum matchings of a graph.

2. Covering a graph with nontrivial paths

Let g and f be integer functions defined on the vertices of a graph G . A (g, f) -factor of G is a subgraph H of G such that $V(H) = V(G)$ and each vertex x has degree at least $g(x)$ and at most $f(x)$ in H . Let a and b be two integers such that $a \leq b$. When $g(x) = a$ and $f(x) = b$ for every x in G , we say that H is an $[a, b]$ -factor. Thus, deciding whether a graph has a nontrivial path cover is equivalent to deciding whether it has a $[1, 2]$ -factor.

There is a large number of results characterizing graphs which contain (g, f) -factors: both algorithmic and structural ones. In 1952, Tutte characterized graphs that have an (f, f) -factor. Later, [Lovász 1970] gave a characterization of the graphs which admit a (g, f) -factor. In the eighties, [Anstee 1985] showed an algorithm that finds a (g, f) -factor, if it exists, or finds a certificate of its non-existence in polynomial time. Another algorithmic result was given by [Heinrich et al. 1990], who designed a more efficient algorithm for the special case in which $g(x) \leq 1$ and $g(x) < f(x)$ for every vertex x in the graph. Therefore, it has already been proved that the nontrivial path cover existence problem can be solved in polynomial time.

We show that the existence of a nontrivial path cover in a graph has a close relation with the structure of its maximum matchings. Let G be a graph that has a path cover by k -paths with $k \geq 1$. Note that, the paths of length greater than 2 can be broken into paths of length 1 or 2. Therefore, we may focus only on the problem of deciding whether there exists a path cover of G consisting only of 1-paths or 2-paths. Let us denote by $\overline{\mathcal{P}}_{1,2}(G)$ a path cover of G composed by 1-paths or 2-paths with the property that it has the largest possible number of 1-paths. We can prove the following result on $|\overline{\mathcal{P}}_{1,2}(G)|$.

Proposition 1 *Let G be a graph that admits a nontrivial path cover, and let $\overline{\mathcal{P}}_{1,2}(G)$ be a path cover as defined above. Then $|\overline{\mathcal{P}}_{1,2}(G)|$ is precisely the cardinality of a maximum matching of G .*

By Proposition 1, if we choose an edge from every path in $\overline{\mathcal{P}}_{1,2}(G)$, we obtain a maximum matching of G . Therefore, if a graph G admits a nontrivial path cover, then G has a maximum matching that can be extended to a path cover $\overline{\mathcal{P}}_{1,2}(G)$. However, it is not true that every maximum matching has this property. Using the structure given by the Edmonds-Gallai decomposition [Lovász and Plummer 1986] of a graph, we can reduce

MAXNTPC on G to a maximum matching problem in a bipartite graph, and prove the following result.

Theorem 1 *The MAXNTPC problem can be solved in polynomial time.*

The classic result of [Lovász 1970] characterizing graphs that admit a (g, f) -factor gives the following result when we consider the special case of $[1, 2]$ -factors (see [Las Vergnas 1978]).

Theorem 2 (Lovász 1970) *A graph G has a $[1, 2]$ -factor, if and only if, $i(G - S) \leq 2|S|$ for every $S \subseteq V(G)$, where $i(G - S)$ is the number of isolated vertices in $G - S$.*

Our approach of specializing to path covers $\overline{\mathcal{P}}_{1,2}(G)$ of a graph G gives an efficient way to find a $[1, 2]$ -factor (nontrivial path cover), when it exists, or to find a negative certificate. The next theorem shows how this certificate can be obtained.

Theorem 3 *Let G be a graph, $D(G)$ be the set given by the Edmonds-Gallai decomposition of G , and $T \subseteq D(G)$ be the set of vertices corresponding to the trivial hypomatchable components in $D(G)$. Then the following holds:*

- (i) *G has a $[1, 2]$ -factor if and only if $|X| \leq 2|N(X)|$, for every $X \subseteq T$.*
- (ii) *If G does not have a $[1, 2]$ -factor, and X is a set that violates the condition stated in (i), then $S = N(X)$ (the set of neighbours of X) is a set that violates the condition stated in Theorem 2. Moreover, S can be found in polynomial time.*

Next, we show a reduction from MINPC to MINNTPC. Let G be a cubic graph. Let $G' = (V', E')$ be a cubic graph obtained from G by replacing each vertex v in $V(G)$ with a triangle T_v (that is, a K_3). Each vertex of T_v represents one of the edges incident to v in G . The set of edges E' is composed of the edges of the triangles T_v for each v in $V(G)$, and for each edge $uv \in E(G)$ there is an edge in E' linking the vertices in T_u and T_v that represent the edge uv . Observe that G' always has a nontrivial path cover. Moreover, if G is planar and 3-connected, then G' also has these properties. The following result is used to show the hardness to approximate MINNTPC.

Proposition 2 *Let G be a cubic graph and let G' be a graph as defined above. Let \mathcal{P} be a nontrivial path cover of G' . Then, G' has a nontrivial path cover \mathcal{Q} such that, $|\mathcal{Q}| \leq |\mathcal{P}|$, and whenever a path in \mathcal{Q} intersects a triangle T_v , it traverses two edges of T_v .*

Using the reduction and the Proposition above, we can conclude that MINNTPC is NP-hard on cubic planar 3-connected graphs. This result also follows from the fact that the Hamiltonian path problem is NP-complete on cubic planar 3-connected graphs.

Now, we present some inapproximability results for MINPC and MINNTPC. For that, we use the fact that the MINIMUM TRAVELING SALESMAN (MINTSP-(1, 2)) problem is Max SNP-hard [Papadimitriou and Yannakakis 1993] even when the edge-weights are 1 or 2, and the edges with weight 1 induce a cubic graph. Using a result of Arora et al. [Arora et al. 1998] and showing AP-reductions from MINTSP-(1, 2) to MINPC, and from MINPC to MINNTPC, we prove the following result.

Theorem 4 *MINPC and MINNTPC on cubic graphs have no PTAS, unless $P = NP$.*

We also show an approximation threshold for MINPC.

Theorem 5 For every $\epsilon > 0$, there is no $(\frac{371}{370} - \epsilon)$ -approximation algorithm for MINPC, unless $P = NP$.

When restricted to trees, we can show the following result.

Theorem 6 MINNTPC on trees can be solved in linear time.

3. Concluding remarks

As far as we know, the MINNTPC and MAXNTPC problems have not been treated in the literature. Currently, we are testing some integer programming formulations which we have proposed for MINNTPC. The computational results are preliminary, but seem very promising. We are also interested in the design of approximation algorithms for MINPC and MINNTPC.

References

- Anstee, R. (1985). An algorithmic proof of Tutte's f -factor theorem. *J. Algorithms*, 6(1):112–131.
- Arikati, S. R. and Pandu Rangan, C. (1990). Linear algorithm for optimal path cover problem on interval graphs. *Inform. Process. Lett.*, 35(3):149–153.
- Arora, S., Lund, C., Motwani, R., Sudan, M., and Szegedy, M. (1998). Proof verification and the hardness of approximation problems. *J. ACM*, 45(3):501–555.
- Corneil, D. G., Dalton, B., and Habib, M. (2013). LDFS-based certifying algorithm for the minimum path cover problem on cocomparability graphs. *SIAM J. Comput.*, 42(3):792–807.
- Damaschke, P. (1989). The Hamiltonian circuit problem for circle graphs is NP-complete. *Inform. Process. Lett.*, 32(1):1–2.
- Franzblau, D. S. and Raychaudhuri, A. (2002). Optimal Hamiltonian completions and path covers for trees, and a reduction to maximum flow. *ANZIAM J.*, 44(2):193–204.
- Garey, M., Johnson, D., and Tarjan, R. (1976). The planar Hamiltonian circuit problem is NP-complete. *SIAM J. Comput.*, 5(4):704–714.
- Heinrich, K., Hell, P., Kirkpatrick, D., and Liu, G. (1990). A simple existence criterion for $(g < f)$ -factors. *Discrete Math.*, 85(3):313–317.
- Las Vergnas, M. (1978). An extension of Tutte's 1-factor theorem. *Discrete Math.*, 23(3):241–255.
- Lovász, L. (1970). Subgraphs with prescribed valencies. *J. Combin. Theory*, 8:391–416.
- Lovász, L. and Plummer, M. D. (1986). *Matching theory*, volume 121 of *North-Holland Mathematics Studies*. North-Holland Publishing Co., Amsterdam; North-Holland Publishing Co., Amsterdam. *Annals of Discrete Mathematics*, 29.
- Moran, S. and Wolfstahl, Y. (1991). Optimal covering of cacti by vertex-disjoint paths. *Theoret. Comput. Sci.*, 84(2, Algorithms Automat. Complexity Games):179–197.
- Müller, H. (1996). Hamiltonian circuits in chordal bipartite graphs. *Discrete Math.*, 156(1-3):291–298.
- Papadimitriou, C. H. and Yannakakis, M. (1993). The traveling salesman problem with distances one and two. *Math. Oper. Res.*, 18(1):1–11.

Uma Aproximação para o Problema de Alocação de Terminais com Capacidade

Lehilton L.C. Pedrosa*, Vinícius Balbino de Souza†

¹Instituto de Computação – Universidade Estadual de Campinas
Campinas, São Paulo

lehilton@ic.unicamp.br, vbalbinods@gmail.com

Abstract. We consider the Capacitated p -Hub Center Problem. An instance comprises a metric space V , a set of demands $D \subseteq V^2$, a number of hubs p , and a capacity L . A solution is a multiset S of locations where to install hubs with $|S| \leq p$ and an assignment from each demand to a hub such that no hub receives more than L demands. The objective is to find the solution that minimizes the maximum cost of serving a demand through the assigned hub. In this work, we give the first approximation algorithm for the problem, that achieves factor 7.

Resumo. Consideramos o Problema de Alocação de Terminais com Capacidade. Uma instância é composta de um espaço métrico V , um conjunto de demandas $D \subseteq V^2$, um número de terminais p e uma capacidade L . Uma solução é um multiconjunto S de locais para instalar terminais com $|S| \leq p$ e, para cada demanda, um terminal associado de forma que nenhum deles receba mais de L demandas. O objetivo é encontrar uma solução que minimiza o maior custo de servir uma demanda através do terminal atribuído. Neste trabalho, obtemos o primeiro algoritmo de aproximação para o problema, com fator 7.

1. Introdução

Em diversas aplicações de transportes, logística, etc., necessitamos da instalação de terminais, como aeroportos de conexão ou *switches* de rede. Um terminal é um centro de consolidação, troca e ordenação, que permite remanejamento de conexões diretas, usando uma quantidade menor de ligações indiretas. Uma vez que a maioria de problemas voltados a essas aplicações são NP-difíceis, consideramos alternativas, como algoritmos de aproximação: um algoritmo polinomial para um problema de otimização é uma α -aproximação se o custo da solução encontrada é no máximo α vezes mais caro que a melhor solução existente. Enquanto aproximações para problemas de localização, como o problema clássico dos k -Centros são conhecidas desde os anos 80 [Hochbaum and Shmoys 1986], as primeiras aproximações para problemas de alocação de terminais só apareceram depois, como para o chamado Problema de Alocação de Terminais em Estrela, em 2009 [Iwasa et al. 2009]. Recentemente, Pedrosa et al. [Pedrosa et al. 2016] consideraram o Problema de Centro de Alocação dos p -Terminais (*Capacitated p -Hub Center Problem*, p -HP), mostrando que é NP-difícil encontrar uma aproximação com fator melhor que 2 e obtendo um algoritmo com fator 3.

*Este trabalho foi parcialmente financiado pelo processo nº 2015/11937-9, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP).

†Bolsista do CNPq - Brasil.

Um exemplo de situação modelada pelo p -HP ocorre se quisermos conectar pares de computadores instalando um número p de roteadores. Nesse caso, o objetivo é minimizar a pior latência entre um computador de origem, o roteador associado e o computador de destino. Na prática, um roteador pode ter um limite de conexões a que pode atender, o que significa que uma solução para o p -HP nem sempre é aplicável. Neste trabalho, consideramos uma generalização do p -HP para modelar esse tipo de restrição. Especificamente, consideramos o *Capacitated* p -HP, denotado por p -CHP, em que uma entrada também contém um número L e cada um dos p terminais instalados pode ser associado a no máximo L demandas.

Nossa contribuição é a primeira aproximação para o p -CHP, com fator de aproximação 7. O algoritmo utiliza o método do gargalo [Hochbaum and Shmoys 1986], em que se reduz um problema de um espaço métrico para o caso particular em que os pontos estão em um grafo sem pesos. Para lidar com as capacidades, criamos um particionamento de demandas e resolvemos um problema de fluxo máximo, baseando-se na *árvore de monarcas* de [Khuller and Sussmann 2000], utilizada em sua clássica 5-aproximação para o problema dos k -centros com capacidade.

2. Uma 7-Aproximação para o p -CHP

Formalmente, uma instância do p -CHP é dada por um grafo completo G com vértices V e métrica d , em que $d(x, y) \geq 0$ é a distância entre os vértices $x, y \in V$; um conjunto D de pares $(x, y) \in V \times V$, em que cada um representa uma demanda entre os vértices x e y ; um número inteiro p , que define o número de terminais a serem instalados; e um número L , cada um representando a capacidade de um terminal. Uma solução é um multiconjunto S de elementos de V , com $|S| \leq p$, e uma função $\phi : D \rightarrow S$, tal que $|\phi^{-1}(v)| \leq L$ para todo $v \in S$ (i.e., ϕ associa no máximo L demandas a v). O objetivo é encontrar uma solução que minimiza $\max_{(x,y) \in D} d(x, \phi(x, y)) + d(\phi(x, y), y)$.

2.1. Algoritmo

O algoritmo para o p -CHP consiste de quatro rotinas, p -CAPHUB, GETMONARCHS, SETDOMAINS e ASSIGN, que são detalhadas nos Algoritmos 1 a 4. Uma descrição textual é apresentada a seguir.

A rotina p -CAPHUB obtém uma estimativa do valor de uma solução ótima, τ , enumerando cada uma das possibilidades. Dada uma estimativa τ , cria-se um grafo H bipartido entre demandas D e locais V , chamado de grafo de gargalo, em que uma aresta significa que uma demanda pode ser servida a partir de um certo local ao custo de no máximo τ . Se houver demanda isolada, então pode-se testar o próximo valor de τ no conjunto de possibilidades, já que nesse caso não existe terminal que satisfaz essa demanda com custo τ . Se toda demanda é incidente a pelo menos uma aresta em H , então o problema se reduz em encontrar uma solução com o número mínimo de terminais em que cada demanda é satisfeita por um terminal na vizinhança de H . Iremos mostrar depois que, para um certo τ , ou p -CAPHUB encontra uma solução com até p terminais em que cada demanda é atribuída a um terminal à distância até 7 em H , ou em qualquer solução do problema original de custo até τ , mais do que p terminais são necessários. No primeiro caso, o algoritmo devolverá uma 7-aproximação e o algoritmo termina; no último caso, conclui-se que τ está subestimando o valor ótimo, e testa-se a próxima possibilidade.

Algoritmo 1: p -CAPHUB(G, d, D, L, p)

1. $F \leftarrow \{d(x, h) + d(h, y) : (x, y) \in D, h \in V\}$
2. Para cada $\tau \in F$, em ordem crescente:
 - (a) Crie o grafo $H = (D \cup V, E)$, com arestas $E = \{((x, y), v) : d(x, v) + d(v, y) \leq \tau\}$.
 - (b) Se existe (x, y) isolado em H , continue em 2.
 - (c) $M, T, r \leftarrow \text{GETMONARCHS}(H)$
 - (d) $\text{Dom}, \text{Emp} \leftarrow \text{SETDOMAINS}(H, M, L)$
 - (e) Para $m \in M$, faça $\text{Pass}(m) \leftarrow \emptyset$.
 - (f) $S \leftarrow \text{ASSIGN}(H, T, L, r)$.
 - (g) Se $|S| \leq p$, termine e devolva S .

Algoritmo 3: SETDOMAINS(H, M, L)

1. Crie uma rede de fluxo N com vértices D , uma cópia de cada demanda de M e dois novos nós, s, t . O conjunto de arcos é:
 - Para $e \in D$, um arco (s, e) de capacidade 1.
 - Para $m \in M$, um arco (m, t) de capacidade L .
 - Para cada $e \in D$ e cópia $m \in M$, um arco não capacitado (e, m) se $\text{dist}_H(e, m) \leq 2$.
2. Obtenha um fluxo s - t máximo em N .
3. Para cada $m \in M$, seja $\text{Dom}(m)$ (domínio de m) o conjunto de demandas e por que passa uma unidade de fluxo e cujo fluxo flua por m .
4. Para cada m , seja $\text{Emp}(m)$ (império de m) o conjunto de demandas e com $d(m, e) \leq 2$ que ainda não estão no domínio ou império de algum monarca. Devolva Dom e Emp .

Algoritmo 2: GETMONARCHS(H)

1. Escolha demanda $r \in D$ arbitrária.
2. Faça $M \leftarrow \{r\}$ e torne r raiz de T .
3. Enquanto houver $e \in D \setminus M$, $\text{dist}_H(e, M) \geq 4$:
 - (a) Escolha $f \in M$ e $e \in D \setminus M$, tais que $\text{dist}_H(e, f) = 4$.
 - (b) Adicione e a M e faça f pai de e em T .
4. Devolva M, T e r .

Algoritmo 4: ASSIGN(H, T, L, m)

1. Execute ASSIGN(H, T, L, f) em cada filho f de m .
2. Sejam $b \geq 0$ e $0 \leq c < L$ números inteiros tais que $bL + c = |\text{Pass}(m)| + |\text{Emp}(v)|$.
3. Escolha um vizinho arbitrário v de m no grafo H e instale $b + 1$ terminais em v .
4. Atribua cada demanda $e \in \text{Pass}(m) \cup \text{Emp}(m)$ aos $b + 1$ terminais; em seguida, atribua a esses quantos elementos de $\text{Dom}(v)$ forem possíveis sem exceder a capacidade.
5. Se m for a raiz:
 - então instale um novo terminal em v e atribua as demandas excedentes de $\text{Dom}(m)$;
6. Caso contrário:
 - inclua as demandas excedentes em $\text{Pass}(m')$, em que m' é o pai de m .
7. Devolva o conjunto de terminais instalados.

O laço interno de p -CAPHUB contém três chamadas a sub-rotinas. A primeira, GETMONARCHS, obtém a chamada *árvore de monarcas*, T , de maneira gulosa. T é construída de forma que monarcas pai e filho estejam à distância 4 em H e que cada demanda $e \in D$ seja um monarca, ou esteja a distância 2 de algum monarca, i.e, $\text{dist}_H(e, m) \leq 2$ para $m \in M$. Essa propriedade garante que, para cada monarca $m \in M$, uma solução ótima S^* contenha um terminal $h \in S^*$, chamado testemunha, que é vizinho de m em H .

A segunda sub-rotina é SETDOMAINS. Para cada $m \in M$, definem-se conjuntos disjuntos $\text{Dom}(m)$ e $\text{Emp}(m)$ de demandas com distância até 2 de m , chamados de domínio e império de m . A família de todos pares $\text{Dom}(m)$ e $\text{Emp}(m)$ particionam D . Os domínios são escolhidos de forma que $|\text{Dom}(m)| \leq L$ para cada m , mas de forma a maximizar o número de demandas que podem ser servidas se houvesse um terminal em cada monarca. Intuitivamente, a união dos domínios serve pelo menos tantas demandas quantas são servidas na solução ótima S^* pelas testemunhas de M . Para maximizar o número de demandas servidas pelos monarcas, é resolvido um problema de fluxo máximo.

Finalmente, ASSIGN instala e atribui demandas a terminais, percorrendo a árvore de monarcas de forma *bottom-up*. Para cada monarca m , escolhe-se um local v na vizinhança de m e instalam-se $b + 1$ terminais, a fim de servir as demandas de $\text{Emp}(m)$ e, possivelmente, um conjunto de demandas passadas pelos filhos de m , $\text{Pass}(m)$. As demandas em $\text{Dom}(m)$ são atribuídas aos terminais com capacidade livre em v e as excedentes passadas ao pai de m . O algoritmo termina quando a raiz é considerada. Nesse caso, não é possível transferir demandas remanescentes e um novo terminal é instalado.

2.2. Análise

A correção do algoritmo utiliza dois fatos principais: para um dado τ , a rotina p -CAPHUB não seleciona mais terminais do que uma solução ótima; e, para cada demanda, o terminal associado está à distância no máximo 7. Primeiro precisamos da seguinte definição.

Definição. Um monarca leve é um monarca $m \in M$ com $|\text{Dom}(m)| < L$. Um monarca cheio é um monarca $m \in M$ com $|\text{Dom}(m)| = L$.

Lema 1. Seja k_L o número de monarcas leves, n_L é o número de demandas nos domínios de monarcas leves e n o número total de demandas. Se S^* é o conjunto de terminais de uma solução de custo τ com um número mínimo de terminais, então $|S^*| \geq k_L + \lceil \frac{n-n_L}{L} \rceil$.

O seguinte lema limita a distância entre uma demanda e o terminal atribuído.

Lema 2. Seja e uma demanda. Se e foi atribuída a um terminal v , então $\text{dist}_H(e, v) \leq 7$.

Demonstração. Seja e uma demanda e seja m o monarca correspondente à execução de ASSIGN no momento em que e foi atribuída. Vamos mostrar que $\text{dist}_H(e, m) \leq 6$. Consideramos dois casos. Se e pertence ao domínio ou ao império de m , então temos $\text{dist}_H(e, m) \leq 2$. Do contrário, então $e \in \text{Pass}(m)$, i.e., e é uma demanda passada por um filho de m na árvore de monarcas, diga-se m' . Como e não foi atribuído a m' , segue que $e \in \text{Dom}(m')$. Obtemos $\text{dist}_H(m', m) = 4$ e $\text{dist}_H(e, m') \leq 2$. Combinando essas equações, obtemos $\text{dist}_H(e, m) \leq \text{dist}_H(e, m') + \text{dist}_H(m', m) \leq 2 + 4 = 6$.

Para concluir o lema, basta observar que todas as demandas atribuídas por ASSIGN, ao ser executado com monarca m , são atribuídas a um mesmo local v na vizinhança de m . Daí, $\text{dist}_H(m, v) = 1$ e, finalmente, $\text{dist}_H(e, v) \leq \text{dist}_H(e, m) + \text{dist}_H(m, v) \leq 6 + 1 = 7$. \square

Lema 3. Seja $v \in V$ e $e = (x, y) \in D$. Se $\text{dist}_H(e, v) = \alpha$, então $d(x, v) + d(v, y) \leq \alpha\tau$.

Teorema 1. Existe uma 7-aproximação para o p -CHP.

Demonstração. Primeiro note que o algoritmo executa em tempo polinomial. Também, pelo Lema 2, em cada iteração de p -CAPHUB com valor τ , obtemos uma atribuição ϕ tal que para cada $e \in D$, $\text{dist}_H(e, \phi(e)) \leq 7$. Pelo Lema 3, obtemos que $d(e, \phi(e)) \leq 7\tau$.

Seja OPT o custo da solução ótima S^* . Note que OPT é considerado pelo algoritmo p -CAPHUB, i.e., $\text{OPT} \in F$. Pelo Lema 1, na iteração em que $\tau = \text{OPT}$, vale $|S^*| \geq k_L + \lceil \frac{n-n_L}{L} \rceil$. Como os únicos terminais instalados e não completamente ocupados estão associados a monarcas leves e, possivelmente, um único terminal instalado para a raiz r , segue que o ASSIGN instala, no máximo, $k_L + \lceil \frac{n-n_L}{L} \rceil \leq |S^*| \leq p$ terminais. Portanto, para alguma iteração com valor $\tau' \leq \text{OPT}$, o algoritmo irá devolver uma solução de custo no máximo $7\tau'$ e com no máximo p terminais. \square

Referências

- [Hochbaum and Shmoys 1986] Hochbaum, D. S. and Shmoys, D. B. (1986). A Unified Approach to Approximation Algorithms for Bottleneck Problems. *J. ACM*, 33(3):533–550.
- [Iwasa et al. 2009] Iwasa, M., Saito, H., and Matsui, T. (2009). Approximation algorithms for the single allocation problem in hub-and-spoke networks and related metric labeling problems. *Discrete Applied Mathematics*, 157(9):2078–2088.
- [Khuller and Sussmann 2000] Khuller, S. and Sussmann, Y. J. (2000). The Capacitated K -Center Problem. *SIAM Journal on Discrete Mathematics*, 13(3):403–418.
- [Pedrosa et al. 2016] Pedrosa, L. L. C., Santos, V. F., and Schouery, R. C. S. (2016). Uma aproximação para o problema de alocação de terminais. In *Anais do CSBC 2016 (1º ETC - 2016)*.

Sobre as relações racionais intrinsecamente ambíguas

Rodrigo de Souza^{1*}

¹DEINFO – Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)
Dois Irmãos – 52.171-900 – Recife – PE – Brazil

rodrigo.npmsouza@ufrpe.br

Abstract. *The family of rational relations, or the relations between words which can be realised by transducers (automata with inputs and outputs) is considered. Not every rational relation can be realised by an unambiguous transducer. Our main contribution is a characterisation of the intrinsically ambiguous k -valued rational relations based on the concept of lag between successful computations. We also show that it is undecidable whether the union of two rational functions is an intrinsically ambiguous relation. Finally, we show that the unambiguous k -valued relations are precisely the sums of k pairwise disjoint rational functions. Our proofs are built on structural constructions with automata based on the concept of covering of automata.*

Resumo. *A família das relações racionais, ou relações entre palavras que podem ser realizadas por transdutores (autômatos com entrada e saída) é considerada. Nem toda relação racional pode ser realizada por um transdutor não-ambíguo. Nossa principal contribuição é uma caracterização das relações k -valoradas intrinsecamente ambíguas baseada no conceito de deslocamento entre passeios. Também apresentamos uma prova simples de que é indecidível se a união de duas funções racionais é uma relação intrinsecamente ambígua. Finalmente, mostramos que as relações k -valoradas não-ambíguas são precisamente somas de k funções racionais duas a duas disjuntas. Nossas provas consistem de construções estruturais baseadas no conceito de revestimento de autômatos.*

1. Introdução

Dizemos que um autômato \mathcal{A} com transições rotuladas por elementos de um monóide M é não-ambíguo se passeios bem-sucedidos distintos de \mathcal{A} tem rótulos distintos; dizemos neste caso que o *comportamento* de \mathcal{A} (= o subconjunto de M dos rótulos dos passeios bem-sucedidos) é um *conjunto racional não-ambíguo*.¹

O conceito de ambiguidade está na raiz de alguns dos problemas mais desafiantes na área de Linguagens Formais e Autômatos. Tal é a situação mesmo no contexto mais elementar, onde M é um monóide livre A^* e \mathcal{A} é um autômato não-determinístico (transições rotuladas por letras de A). Neste caso, sempre é possível construir um autômato não-ambíguo equivalente (no limite, basta considerar um autômato determinístico equivalente, usando-se a construção dos subconjuntos). Em outras palavras,

*Este trabalho é apoiado pelo projeto *Problemas estruturais em modelos formais de Computação*, Edital MCTI/CNPQ/Universal 14/2014 (Processo 459957/2014-7).

¹Por limitação de espaço, não apresentamos neste resumo definições e notações básicas sobre autômatos e transdutores. Esse material pode ser consultado no livro de Jacques Sakarovitch [Sakarovitch 2009].

os *subconjuntos reconhecíveis*² de um monóide livre são não-ambíguos. Todavia, a compreensão desses objetos está longe de concluída: por exemplo, a estimativa da complexidade de operações clássicas, como complementação, envolvendo autômatos não-ambíguos esconde uma série de questões em aberto [Colcombet 2015].

Em se tratando de autômatos rotulados por pares de palavras, ou *transdutores*, onde o monóide M é um produto cartesiano $A^* \times B^*$ de dois monóides livres, os problemas correspondentes se tornam muito mais delicados. Antes de tudo, nem toda *relação racional* (= subconjunto racional de $A^* \times B^*$) é não-ambígua. Ou seja, certas relações racionais são *intrinsecamente ambíguas*: todos os transdutores que as realizam tem necessariamente pares de passeios bem-sucedidos distintos com o mesmo rótulo. Além disso, saber se uma relação racional (dada através de um transdutor) é intrinsecamente ambígua é um problema *indecidível*. Essa complicação se verifica mesmo entre relações mais elementares, como aquelas onde a imagem de toda palavra em A^* é um conjunto de cardinalidade no máximo k , para um k fixo – são as chamadas *relações k -valoradas*.³

A primeira propriedade é revisitada aqui sob um novo ponto de vista (Teorema 2.1), inscrito em um programa de abordagem de propriedades de autômatos através de *construções estruturais* com os mesmos. No centro dessas construções se destaca o conceito de *revestimento de autômatos*. Essa abordagem, desenvolvida na escola francesa da área – veja por exemplo discussão em [Sakarovitch 1998] – e adotada na tese de doutorado do autor [de Souza 2008], consiste em *explicitar* o resultado almejado em construções com os objetos envolvidos. Um exemplo característico é o *revestimento de Schützenberger*, definido em [Sakarovitch 1998]. Trata-se do produto cartesiano $\mathcal{A} \times \mathcal{A}_{\text{det}}$ de um autômato não-determinístico \mathcal{A} com o determinístico equivalente obtido com a construção dos subconjuntos. A projeção na primeira coordenada é um morfismo que estabelece uma bijeção entre os passeios bem-sucedidos de \mathcal{A} e $\mathcal{A} \times \mathcal{A}_{\text{det}}$, de forma que ambos os autômatos tem, intuitivamente, a mesma estrutura; ocorre que, através da eliminação de determinadas transições de $\mathcal{A} \times \mathcal{A}_{\text{det}}$, obtém-se um sub-autômato não-ambíguo equivalente a \mathcal{A} , que *seleciona* (através do morfismo de transições) exatamente um passeio para cada palavra no comportamento de \mathcal{A} . Esse objeto fornece por exemplo uma nova prova – uma prova estrutural – para propriedades clássicas de transdutores como o *Teorema da Uniformização* e o fato de que toda função racional é não-ambígua [Eilenberg 1974]. De forma mais geral, um revestimento de um autômato \mathcal{A} é uma expansão de \mathcal{A} , um novo e maior autômato \mathcal{B} , juntamente de um morfismo entre os passeios bem-sucedidos de \mathcal{A} e \mathcal{B} que estabelece uma bijeção entre esses passeios. Mas, a estrutura desses passeios aparece mais explícita em \mathcal{B} , de forma que a manipulação das transições e estados de \mathcal{B} leva à obtenção de sub-autômatos com propriedades notáveis.

A base de nossas demonstrações é o conceito de *revestimento lexicográfico*, cujas definição e propriedades desenvolvemos em [Sakarovitch and de Souza 2010] (ver também [de Souza 2008]) para demonstrar que toda relação racional k -valorada pode ser decomposta numa união de k funções racionais (melhorando um resultado de A. Weber,

²De um ponto de vista algébrico, os subconjuntos que se convencionou chamar de reconhecíveis e racionais são definidos de formas distintas; mas pelo Teorema de Kleene ambas as famílias coincidem quando M é um monóide livre, e usamos o termo “reconhecível” por ser mais comum no contexto brasileiro.

³Os transdutores onde a entrada de toda transição é uma letra (que são chamados de *tempo real* em parte da literatura) realizam as relações racionais de *imagem finita*: a imagem de toda palavra no domínio da relação é um conjunto finito. Doravante, os termos *transdutor* e *relação racional* referem-se a esse objeto.

cuja prova original é longa e difícil, e a complexidade envolvida na construção é maior). Em linhas gerais, um revestimento lexicográfico é baseado em uma ordem lexicográfica colocada entre os passeios bem-sucedidos do autômato de partida; do revestimento podemos então extrair sub-autômatos contendo precisamente os passeios que ocupam determinadas posições nessa ordem, como os menores (dentre aqueles com o mesmo rótulo), ou os k -ésimos menores, para um k fixo. É essa possibilidade de identificar posições específicas dessa ordem que torna o revestimento lexicográfico útil para problemas de ambiguidade. Frequentemente, essa abordagem leva a uma compreensão mais clara da propriedade em questão: por exemplo, nosso método permite concluir rapidamente que determinadas famílias de relações são intrinsecamente ambíguas (Teorema 2.1), enquanto que a abordagem comum na literatura consiste de um raciocínio combinatório *ad hoc* (no estilo do *lema do bombeamento*) aplicado a determinada relação particular [Sakarovitch 2009].

Também apresentamos uma caracterização das relações racionais intrinsecamente ambíguas com base no conceito de *deslocamento* entre passeios bem-sucedidos. O deslocamento entre passeios c_1 e c_2 com o mesmo rótulo de um transdutor \mathcal{T} é o máximo entre as diferenças de comprimento das saídas, considerando-se todos os prefixos de c_1 e c_2 com a mesma entrada; veja [Sakarovitch and de Souza 2010] para a definição formal. O máximo dentre todos os deslocamentos, considerando-se todos os pares de passeios bem-sucedidos de \mathcal{T} , é denotado por $\langle \mathcal{T} \rangle$, e pode ser limitado ou não. Em se tratando das relações racionais k -valoradas, o Teorema 3.1 diz que as intrinsecamente ambíguas são precisamente aquelas realizadas por transdutores onde $\langle \mathcal{T} \rangle$ não é limitado. Para essas relações, também mostramos um resultado estrutural: as não-ambíguas são precisamente as somas de funções racionais duas a duas disjuntas (Teorema 2.2). Completamos nossa exposição com um refinamento da indecidibilidade para a família das relações intrinsecamente ambíguas, em um enunciado envolvendo as relações 2-valoradas (Teorema 4.1).

Em razão do espaço reduzido, limitamo-nos na sequência a apresentar os enunciados de nossos resultados, e um comentário breve sobre a demonstração. Nossa intenção é exibir completamente nosso estudo de alguns aspectos da ambiguidade para as relações finitamente valoradas. Mais detalhes sobre as demonstrações podem ser encontrados na tese de doutorado do autor [de Souza 2008], que é o ponto de partida desta pesquisa.

2. Identificando relações intrinsecamente ambíguas

Teorema 2.1 *Se τ é uma relação racional não-ambígua, então, para todo inteiro $k > 0$, o conjunto $\{u \in \text{dom } \tau \mid \text{card}(u\tau) = k\}$ é reconectível.*

Esboço da prova Seja \mathcal{T} um transdutor não-ambíguo que realiza τ . Para cada u no domínio de τ , o número de passeios bem-sucedidos de \mathcal{T} com entrada u é exatamente $\text{card}(u\tau)$ (porque \mathcal{T} é não-ambíguo). Para cada inteiro $k > 0$ podemos construir um revestimento lexicográfico possuindo um sub-autômato que seleciona precisamente os passeios bem-sucedidos tais que há exatamente outros $k - 1$ com a mesma entrada. As saídas de τ restritas a esse sub-autômato formam o conjunto desejado.

O Teorema 2.1 permite identificar facilmente certas relações intrinsecamente ambíguas.⁴ Por exemplo, sejam σ_1, σ_2 os morfismos gerados por $a\sigma_1 = a, b\sigma_1 = 1, a\sigma_2 = 1, b\sigma_2 = a$ e σ a relação racional $\sigma_1 \cup \sigma_2$. Ou seja, $u\sigma = \{a^{|u|_a}, a^{|u|_b}\}$. Essa

⁴Mas não fornece um critério para decidir essa propriedade; como mencionamos, ela é indecidível.

relação racional 2-valorada é intrinsecamente ambígua. De fato, $\text{card}(u\sigma) = 1$ sse $|u|_a = |u|_b$, e assim $\{u \in \text{dom } \sigma : \text{card}(u\sigma) = 1\}$ não é reconhecível. De forma semelhante, podemos mostrar que toda relação racional contida em $(a, c)^*(b, 1)^* + (a, 1)^*(b, c)^*$ e contendo um número infinito de pares da forma $(a^i b^i, c^i)$ é intrinsecamente ambígua.

Teorema 2.2 *Uma relação racional k -valorada é não-ambígua se, e somente se, ela pode ser escrita como uma soma de k funções racionais duas a duas disjuntas.*

Esboço da prova A substância da prova consiste na decomposição de um transdutor k -valorado não-ambíguo \mathcal{T} em k transdutores funcionais não-ambíguos com comportamentos dois a dois disjuntos. O revestimento lexicográfico permite identificar, para cada $\ell \geq 0$, os passeios bem-sucedidos para os quais há ℓ menores na ordem lexicográfica. O sub-autômato correspondente dá origem a um transdutor funcional e não-ambíguo. Os k transdutores para $\ell = 0, 1, \dots, k - 1$ formam a decomposição desejada.

3. Uma caracterização

Teorema 3.1 *Seja $\tau : A^* \rightarrow B^*$ uma relação racional k -valorada. As condições seguintes são equivalentes:*

1. τ é intrinsecamente ambígua;
2. existe um transdutor \mathcal{T} realizando τ tal que $\langle \mathcal{T} \rangle = \infty$;
3. para todo transdutor \mathcal{T} realizando τ , $\langle \mathcal{T} \rangle = \infty$.

Comentário sobre a prova A substância da prova é a implicação (2) \Rightarrow (3), e é elaborada, dependendo de manipulações estruturais com passeios bem-sucedidos do revestimento lexicográfico. Os detalhes podem ser consultados nas referências citadas.

4. Indecidibilidade

Teorema 4.1 *É indecidível se a união de duas funções racionais é uma relação intrinsecamente ambígua.*

Esboço da prova A primeira etapa consiste em mostrar que não é decidível se a intersecção entre duas funções racionais é racional, o que estabelecemos com uma redução ao Problema da Correspondência de Post. Mostramos em seguida que a união de duas funções racionais é não-ambígua se, e somente se, sua intersecção é racional; essa segunda etapa faz uso do Teorema 2.1.

References

- Colcombet, T. (2015). Unambiguity in automata theory. In *Proceedings of Descriptive Complexity of Formal Systems - 17th International Workshop, DCFS 2015*, volume 9118 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 3–18. Springer-Verlag.
- de Souza, R. (2008). *Approche structurelle des transducteurs de norme bornée*. PhD thesis, TELECOM ParisTech.
- Eilenberg, S. (1974). *Automata, Languages, and Machines*. Academic Press, Inc.
- Sakarovitch, J. (1998). A construction on finite automata that has remained hidden. *Theoretical Computer Science*, 204(1-2):205–231.
- Sakarovitch, J. (2009). *Elements of Automata Theory*. Cambridge University Press.
- Sakarovitch, J. and de Souza, R. (2010). Lexicographic decomposition of k -valued transducers. *Theory of Computing Systems*, 47(3):758–785.

Método Exato para Um Problema de Alocação Justa

Edênis F. Azevedo^{1,4}, Carlos E. Ferreira¹, Alexandre S. Freire²,
Aritanan Gruber³, Augusto Vellozo⁴

¹ Instituto de Matemática e Estatística(IME-USP) - São Paulo,SP - Brasil

²Escola de Artes,Ciências e Humanidades(EACH-USP) - São Paulo,SP - Brasil

³Universidade Federal do ABC(UFABC) - Santo André,SP - Brasil

⁴Tecsinapse - São Paulo,SP - Brasil

{denisfa,cef,afreire}@ime.usp.br, aritanan.gruber@gmail.com,

augusto.vellozo@tecsinapse.com.br

Agradecemos a TecSinapse e a FAPESP (projetos 2012/17585-9,2013/03447-6 e 2014/23269-8) pelo apoio financeiro durante a execução deste trabalho.

Abstract. *We consider the problem of fairly allocating a collection of indivisible goods to agents. It is desired to find an allocation such that all agents are equally satisfied. This problem has an application of a company that wants to allocate its production of vehicles to its dealers. We give an exact method for the problem and some preliminary results of the execution with some instances of the application.*

Resumo. *Em um problema de alocação justa, é dada uma coleção de itens que deve ser alocada aos competidores e deseja-se encontrar uma alocação em que todos os competidores fiquem igualmente satisfeitos. Este problema possui uma aplicação na qual uma distribuidora deseja distribuir sua produção de veículos entre concessionárias. Apresentamos um método exato para o problema e alguns resultados preliminares da execução com algumas instâncias da aplicação.*

1. Introdução

Consideraremos um problema de alocação justa no qual é dada uma coleção de itens I que deve ser dividida entre um conjunto de competidores K . Cada competidor deseja maximizar sua satisfação considerando os itens alocados a ele. Desta forma, desejamos encontrar uma alocação de itens aos competidores que seja justa segundo a métrica que será apresentada adiante. Cada competidor expressa sua preferência por meio de uma função que avalia numericamente sua satisfação ao receber uma coleção de itens. O objetivo é encontrar uma alocação de itens para os competidores que maximize suas satisfações e satisfaça as propriedades de uma métrica de justiça considerada.

Para classificar os itens da coleção I , existe um conjunto de categorias H nas quais todo item da coleção I pertence a alguma categoria de H . Cada competidor está interessado na quantidade de itens de cada categoria alocados a ele. Para cada categoria h de H , há uma quantidade a_h que corresponde ao número de itens da categoria h disponíveis para alocação. Cada competidor deve receber uma quantidade fixa de itens, denominada

demanda, dada por um vetor m de $|K|$ posições onde m_k é a quantidade exata de itens que deve ser alocada para o competidor k . Desta maneira, uma alocação deve gerar, para cada competidor k , um vetor indexado pelas categorias de H , no qual cada posição representa a quantidade de itens da categoria alocadas a ele. Portanto, uma alocação é definida como uma função $\alpha : K \rightarrow \mathbb{N}^H$, tal que $\sum_{k \in K} \alpha(k)_h \leq a_h$, para todo h em H e $\sum_{h \in H} \alpha(k)_h = m_k$, para todo competidor k em K . Em seguida, apresentamos a expressão das preferências de um competidor sobre a coleção de itens. A preferência é expressa por uma matriz $P_{|K| \times |H|}$, na qual $P_{k,h}$ corresponde à quantidade de itens da categoria h que o competidor k deseja receber. A satisfação máxima por categoria h do competidor k é atingida quando a quantidade alocada de h para k é exatamente igual a $P_{k,h}$. A função de satisfação é construída considerando as preferências dos competidores, de forma a favorecer o atendimento dos valores $P_{k,h}$ de cada competidor k e categoria h . Além disso, deve favorecer o atendimento de categorias com quantidades desejadas maiores e atender proporcionalmente quantidades desejadas iguais. Desta forma, definimos a função de satisfação como $\phi : K \times \mathbb{N}^H \rightarrow \mathbb{R}$, onde $\phi(k, \alpha) = - \sum_{h \in H} \frac{|P_{k,h} - \alpha(k)_h|^2}{m_k}$ para um competidor k e uma alocação α .

Esse problema possui uma aplicação na qual uma distribuidora deseja distribuir sua produção de veículos entre concessionárias. Os veículos são divididos em modelos e cores e as demandas das concessionárias são determinadas pela distribuidora. As preferências das concessionárias são expressas por pedidos de quantidades de cada modelo e cor. A satisfação de cada concessionária é dada pelo atendimento de seus pedidos. Por regras de negócio internas, toda concessionária pode questionar o resultado de uma alocação. Por isso, o problema foi desenvolvido para oferecer um certificado de justiça que possa ser utilizado pela distribuidora para justificar uma alocação para suas concessionárias.

Os resultados conhecidos para problemas de alocação justa com itens indivisíveis são recentes e, em geral, variam de acordo com as restrições impostas sobre a função de satisfação e com a métrica de justiça escolhida. Para funções de satisfação monótonas e polinomiais, [Golovin 2005] demonstrou que o problema é NP-difícil. Para o caso da função de satisfação genérica, não necessariamente monótona, [Golovin 2005] demonstrou que computar uma aproximação também é NP-difícil. Para a variante considerada, não se sabe se o problema permanece NP-difícil.

O trabalho está organizado da seguinte forma. Na seção 2 definimos a métrica de justiça, enquanto na seção 3 modelamos um problema auxiliar usado pelo método. Já na seção 4, apresentamos o método exato. Por fim, na seção 5 apresentamos a conclusão.

2. Métricas de justiça para uma alocação

Uma alocação α é dita *justa* se aumentar a satisfação de um competidor k necessariamente implica em diminuir a satisfação de um competidor l para um valor menor ou igual ao de k antes de sua satisfação ser aumentada. Mais precisamente, para toda alocação $\beta \neq \alpha$, vale que se $\phi(k, \beta) > \phi(k, \alpha)$ para algum k em K , então existe um competidor l em $K \setminus \{k\}$ tal que $\phi(l, \beta) < \phi(l, \alpha)$ e $\phi(l, \beta) \leq \phi(k, \alpha)$. O conceito-chave para a montagem desta métrica é a justiça *max-min* como definido por [Le Boudec 2008], que surgiu na área de redes de telecomunicações. O PROBLEMA DE ALOCAÇÃO JUSTA consiste em, dada uma instância (K, H, I, P, m) , encontrar uma alocação justa dos itens de I para os competido-

res de K , satisfazendo as demandas dadas. Definimos um outro problema importante para o método exato, uma variante do problema estudado por [Bansal e Sviridenko 2006], denominado PROBLEMA DE CONJUNTO MÍNIMO DE PIOR CASO (PCMPC). Este problema consiste em, dada uma instância (K, H, I, P, m) , encontrar uma alocação que maximize o valor de satisfação do competidor mais insatisfeito. Além disso, o conjunto dado pelos competidores mais insatisfeitos deve ser mínimo.

3. Modelo de programação quadrática para o PCMPC

Sejam $x_{k,h}$ variáveis inteiras para representar a quantidade de unidades da categoria h alocadas ao competidor k , z uma variável contínua que representa a menor satisfação entre os competidores de K e b_k uma variável binária que, para cada competidor k em K , é igual a 1 se sua satisfação é maior do que o valor z e 0, caso contrário. Seja $\epsilon > 0$ tal que $b_k = 1$ se $-\sum_{h \in H} \frac{(P_{k,h} - x_{k,h})^2}{m_k} - z > \epsilon$. Seja $\epsilon^* = \frac{1}{(|K|+1) \cdot \max_k(m_k)}$ de forma que a função objetivo assegura o comportamento desejado de primeiro maximizar a satisfação z do competidor de K mais insatisfeito e depois encontrar um conjunto mínimo de competidores com satisfação z .

$$\text{maximize } z + \epsilon^* \sum_{k \in K} b_k \quad (1)$$

$$\text{sujeito a } \sum_{h \in H} x_{k,h} = m_k \quad \forall k \in K \quad (2)$$

$$(PQ_{PCMPC}) \quad \sum_{k \in K} x_{k,h} \leq a_h \quad \forall h \in H \quad (3)$$

$$-\sum_{h \in H} \frac{(P_{k,h} - x_{k,h})^2}{m_k} \geq z \quad \forall k \in K \quad (4)$$

$$-\sum_{h \in H} \frac{(P_{k,h} - x_{k,h})^2}{m_k} - (\epsilon \cdot b_k) \geq z \quad \forall k \in K \quad (5)$$

$$x_{k,h} \in \mathbb{N}, b_k \in \{0, 1\}, z \in \mathbb{R}$$

O método exato que será apresentado resolve um problema parecido com o PCMPC, no qual considera dois conjuntos de competidores R e \bar{R} , onde $R \cup \bar{R} = K$ e $R \cap \bar{R} = \emptyset$. O problema do método apresenta uma restrição na qual todo competidor de R deve ter sua satisfação fixada em um valor por uma alocação. Esses valores são dados por um vetor s de $|R|$ posições onde s_k é a satisfação exata que deve ser obtida por uma alocação para o competidor k . As alterações de (PQ_{PCMPC}) para obter o modelo do método (PQ_{PCMPCR}) consistem em substituir o conjunto K por \bar{R} em (4) e (5), além de adicionar a seguinte restrição.

$$-\sum_{h \in H} \frac{(P_{k,h} - x_{k,h})^2}{m_k} = s_k \quad \forall k \in R \quad (6)$$

4. Método exato para o problema de alocação justa

Nesta seção, apresentaremos um método exato para resolver o problema de alocação justa. A ideia do algoritmo é construir iterativamente um conjunto R de competidores e, em cada iteração, resolver uma instância do (PQ_{PCMPCR}) para \bar{R} . Inicialmente, $R = \emptyset$ e $\bar{R} = K$. Em cada iteração, todo competidor no conjunto mínimo de uma solução do

(PQ_{PCMPCR}) será adicionado ao conjunto R e removido de \bar{R} . Além disso, a satisfação dos competidores no conjunto mínimo será fixada no valor encontrado por uma solução do (PQ_{PCMPCR}) para as iterações seguintes. Desta maneira, a última alocação encontrada no laço do método deve verificar as propriedades da justiça definida anteriormente.

Algoritmo 1: Método exato para o problema de alocação justa.

Entrada: Instância (K, H, I, P, m) do problema de alocação justa.

Saída: Vetor x representando a alocação encontrada.

```

1 início
2    $(R, \bar{R}) \leftarrow (\emptyset, K)$ 
3   faça
4      $(z, x, b) \leftarrow$  solução do  $(PQ_{PCMPCR})$  para  $(\bar{R}, R, H, I, P, m, s)$ 
5      $D \leftarrow \{k \in \bar{R} | b_k = 0\}$ 
6     para  $k \in D$  faça
7        $s_k \leftarrow z$ 
8      $(R, \bar{R}) \leftarrow (R \cup D, \bar{R} \setminus D)$ 
9   enquanto  $\bar{R} \neq \emptyset$ 
10  devolve  $x$ 

```

Considere uma alocação gerada pelo método. A ideia da prova de corretude é supor que existe uma outra alocação na qual é possível aumentar a satisfação de um competidor sem violar a propriedade da justiça definida anteriormente. Ao considerar a iteração em que o competidor em questão foi adicionado a R pelo método, deve se verificar um absurdo com relação a otimalidade de uma solução do (PQ_{PCMPCR}) da iteração.

4.1. Resultados preliminares

O método descrito acima foi implementado em python e o resolvidor *GUROBI* foi utilizado na implementação. As instâncias da aplicação apresentam, em média, 130 competidores e 35 categorias. Foram executadas 11 instâncias da aplicação. O tamanho da coleção de itens varia entre 3000 e 4500 unidades. O valor $\sum_{h \in H} P_{k,h}$ é próximo de m_k do competidor k em todas as instâncias. O tempo de execução médio foi de 4 horas.

5. Conclusão e trabalhos futuros

Definimos um problema de alocação justa a partir de uma aplicação e propusemos um método exato para resolver o problema. O método foi implementado e resolveu instâncias da aplicação em tempo computacional aceitável. Como trabalho futuro, queremos apresentar experimentos mais detalhados, formalizar a demonstração da corretude do método e provar que o problema é NP-difícil.

Referências

- Bansal, N. and Sviridenko, M. (2006). The santa claus problem. In *Proceedings of the Thirty-eighth Annual ACM Symposium on Theory of Computing, STOC '06*, pages 31–40, New York, NY, USA. ACM.
- Golovin, D. (2005). Max-min fair allocation of indivisible goods. Technical Report CMU-CS-05-144, School of Computer Science, Carnegie Mellon University.
- Le Boudec, J.-Y. (2008). Rate adaptation, Congestion Control and Fairness: A Tutorial.

Deletion Graph Problems Based on Deadlock Resolution

Alan Diêgo Aurélio Carneiro, Fábio Protti, Uéverton S. Santos

¹Programa de Pós-Graduação em Computação - IC UFF, Niterói, Brasil

{aaurelio,usouza,fabio}@ic.uff.br

Abstract. *A deadlock occurs in a distributed computing when a group of processes wait indefinitely for resources from each other. Such a property is stable, that is, once occurs into a global state it also will exist in any subsequent global state. Distributed computations are usually represented by wait-for graphs, where the behavior of processes is determined by a deadlock model. In this paper we consider the scenario where deadlock was detected in a system and then some deadlock-breaking set must be found and removed. Hence, given a “snapshot” G of a deadlocked distributed computation which operates according to a deadlock model \mathbb{M} , we investigate the complexity of vertex deletion and arc deletion problems whose goal is to obtain the minimum number of removals in order to turn G free of graph structures that characterize deadlocks. The complexity of such problems depends on the deadlock model which governs the computation as well as the type of structure to be removed. The results of this paper are NP-completeness proofs and polynomial algorithms for general and particular graph classes. In special, we show that the arc deletion problem on the OR Model can be solved in polynomial time, and the vertex deletion problem on the OR Model remains NP-Complete even on graphs with $\Delta(G) = 4$, but it is solvable in polynomial time on graphs with $\Delta(G) \leq 3$.*

1. Introduction

A set of processes belongs to a deadlock if each process of this set is blocked, waiting response from another process of this same set; that is, the processes can not proceed their execution, because of a necessary event or response that only another process in the same set can send. Deadlock is a common phenomenon to resource sharing.

A wait-for graph $G = (V, E)$ is an useful abstraction to analyse deadlock situations. The set of vertices V represents processes in a distributed computation and the set of directed edges E represents wait conditions [1]. An edge exists in E directed away from $v_i \in V$ towards $v_j \in V$ if v_i is blocked, waiting a signal from v_j . The graph G changes dynamically according to the dependency model as the computation progresses. The dependency models are known as deadlock models and, in essence, they determine the development of G . More precisely, a deadlock model specifies rules for vertices that are not *sinks* in G to become sinks [2]. (A sink is a vertex with out-degree zero.)

The main deadlock models that have been investigated so far in the literature are presented below.

AND model – A process v_i can only become a sink when v_i receives a signal from all of the processes in O_i .

OR model – a process v_i becomes a sink when v_i receives a signal from one of the processes in O_i .

X-Out-Of-Y model – There are two integers, x_i and y_i , associated with a process v_i . In order to be relieved from its wait state, it suffices for v_i to receive a signal from any x_i of those y_i processes.

AND-OR model – There are $t_i \geq 1$ subsets of O_i associated with process v_i . These subsets are denoted by $O_i^1, \dots, O_i^{t_i}$ and must be such that $O_i = O_i^1 \cup \dots \cup O_i^{t_i}$. It suffices for a process v_i to become a sink to receive a signal from all processes in at least one of $O_i^1, \dots, O_i^{t_i}$.

Once a deadlock is detected, only an external intervention may break it. The contributions of this work are to provide an analysis of the computational complexity of optimization problems, so-called deletion problems, related to deadlock resolution. Given a deadlocked distributed computation G which operates according to a deadlock model $\mathbb{M} \in \{\text{AND}, \text{OR}, \text{X-OUT-OF-Y}, \text{AND-OR}\}$, we investigate vertex-deletion and arc-deletion problems whose goal is to obtain the minimum number of removals in order to turn G free of graph structures that characterize deadlocks. The complexity of such problems depends on the deadlock model which governs the computation as well as the type of structure to be removed. To the best of our knowledge, this computational complexity mapping considering the particular combination of deletion operations and deadlock models for deadlock resolution is novel.

Due to space constraints, all proofs will be omitted.

2. Deletion Problems

We define λ -DELETION(\mathbb{M}) as a generic optimization problem for deadlock resolution, where λ indicates the type of deletion operation to be used in order to break all the deadlocks of the input graph, and $\mathbb{M} \in \{\text{AND}, \text{OR}, \text{X-OUT-OF-Y}, \text{AND-OR}\}$ is the deadlock model of the wait-for graph G .

The types of deletion operations considered in this work are explained below:

1. **Arc:** The intervention is given by arc removal. The removal of an arc can be seen as the preemption of a resource.
2. **Vertex:** The intervention is given by vertex removal. The removal of a vertex can be seen as the abortion of one process.
3. **Outputs:** The intervention is given by removing all out-edges of a vertex. The removal of all out-edges of a vertex can be interpreted as an immediate transformation of a blocked process into an executable process by preempting all its required resources.

3. Computational Complexities

As deadlock detection can be done in polynomial time for any model $\mathbb{M} \in \{\text{AND}, \text{OR}, \text{X-OUT-OF-Y}, \text{AND-OR}\}$, it remains to show NP-hardness proofs or polynomial algorithms for our problems. The complexities are proved in the theorems below.

Theorem 1.

- (a) ARC-DELETION(AND) is NP-Hard.
- (b) VERTEX-DELETION(AND) is NP-Hard.
- (c) OUTPUTS-DELETION(AND) is NP-Hard.

Theorem 2.

- (a) ARC-DELETION(OR) can be solved in polynomial time.
- (b) OUTPUTS-DELETION(OR) can be solved in linear time.

Theorem 3.

- (a) ARC-DELETION(AND-OR), VERTEX-DELETION(AND-OR) and OUTPUTS-DELETION(AND-OR) are NP-Hard.
- (b) ARC-DELETION(X-OUT-OF-Y), VERTEX-DELETION(X-OUT-OF-Y) and OUTPUTS-DELETION(X-OUT-OF-Y) are NP-Hard.

The Table 1 presents the computational complexities of the problems presented so far. The complexity analysis of VERTEX-DELETION(OR) is presented in the next section.

	λ -DELETION(\mathbb{M})			
	E	OR	AND-OR	X-Out-Of-Y
Arc	NP-H	P	NP-H	NP-H
Vertex	NP-H	?	NP-H	NP-H
Sink	NP-H	P	NP-H	NP-H

Table 1. Partial scenario of λ -DELETION(\mathbb{M}) complexity.

4. Vertex-Deletion(OR)

We explore different classes of graphs in order to discover features that make the problem VERTEX-DELETION(OR) NP-hard or solvable in polynomial time. We show that VERTEX-DELETION(OR) is NP-hard via a 3-SAT reduction.

Lemma 4. VERTEX-DELETION(OR) is NP-Hard.

In general, a wait-for graph on the OR model can be seen as a conglomerate of several strongly connected components. The problems that can be solved in polynomial time has one characteristic in common: it suffices to simply solve every knot in G because no other SCC will turn into a knot after these removals. The next result handles with the natural question “Can VERTEX-DELETION(OR) be solved in polynomial time when the input graph is strongly connected (i. e., G is a single knot)?”.

Corollary 5. VERTEX-DELETION(OR) remains NP-Hard even when G is strongly connected.

Now we consider properties of the underlying undirected graph of G .

Since one of the most used architectures in distributed computation is the user/server achitecture, a intuitively interesting graph class for distributed computation purposes are bipartite graphs.

Theorem 6. VERTEX-DELETION(OR) remains NP-Hard even when the underlying undirected graph of G is bipartite, planar and have maximum degree equal to 4.

We proved that even for graphs with $\Delta(G) = 4$ the problem remains NP-Hard. Furthermore, the problem for graphs with $\Delta(G) \leq 2$ is trivial [4]. Thus, we explore the complexity of VERTEX-DELETION(OR) when the underlying undirected subcubic graph of G (graph with maximum degree three); in this case we obtain aa $O(m\sqrt{n})$ algorithm.

When we study the vertices characteristics, based on the in- and out-degrees, we are able to phase out unnecessary vertices such as sources and sinks. After that, all vertices

of G are in deadlock. The next step is to continuously analyse graph aspects in order to establish rules and procedures that may define specific vertices that are part of an optimum solution.

By classifying the remaining vertices into types, we were able to identify cases where a knot can be solved with only one removal without spreading to others SCCs. By analyzing topological characteristics, we can obtain some reductions presented below, that provide a partial solution and a smaller and more restricted graph to consider.

Observation 1. *Any SCC with more than one output to a knot can be disregarded.*

Lemma 7. *Any SCC C^1 that reaches any SCC C^2 that is not a knot can be disregarded. Furthermore, if C^1 is at distance 1 of some knot, a reduction is applicable to Q .*

From the reductions presented, we have that the graph to be analyzed, without loss of generality, has only knots that are directed cycles where each vertex in those knots have an input edge coming from another SCC. Also, all SCCs (which are not a knot) only reach knots at a distance one. Then, we show that the remaining problem, i.e., freeing the graph of deadlock reduces to finding a (f, g) -semi-matching in SCCs after applying some rules of reduction.

Lemma 8. [3] *Given a bipartite graph $G' = (K \cup C, E)$ and two functions $f : k \rightarrow \mathbb{N}$ and $g : c \rightarrow \mathbb{N}$, where $k \in K$ and $c \in C$, find a maximum (f, g) -semi-matching of G' can be done in polynomial time.*

Finally, we prove that the following theorem holds.

Theorem 9. VERTEX-DELETION(OR) restricted to subcubic graphs can be solved in $O(m\sqrt{n})$ time.

Such results are summarized in the following table.

VERTEX-DELETION(OR)	
Instance	Complexity
Weakly connected	NP-Hard
Strongly connected	NP-Hard
Planar, bipartite, $\Delta(G) \geq 4$ and $\Delta(G)^+ = 2$	NP-Hard
$\Delta(G) = 3$	Polynomial

Table 2. Complexity of VERTEX-DELETION(OR) for some graph classes.

References

- [1] V. C. Barbosa. The Combinatorics of Resource Sharing. In *Models for Parallel and Distributed Computation*, pages 27–52. Springer, 2002.
- [2] V. C. Barbosa, A. D. A. Carneiro, F. Protti, and U. S. Souza. Deadlock models in distributed computation: foundations, design, and computational complexity. In *Proceedings of the 31st Annual ACM Symposium on Applied Computing*, pages 538–541. ACM, 2016.
- [3] P. Kolman and J. Kratochvíl. *Graph-Theoretic Concepts in Computer Science: 37th International Workshop, WG 2011, Teplá Monastery, Czech Republic, June 21-24, 2011, Revised Papers*, volume 6986. Springer Science & Business Media, 2011.
- [4] D. P. Mitchell and M. J. Merritt. A distributed algorithm for deadlock detection and resolution. In *Proceedings of the third annual ACM symposium on Principles of distributed computing*, pages 282–284. ACM, 1984.

Representações Implícitas Probabilísticas de Grafos

Juan P. A. Lopes¹, Fabiano de S. Oliveira^{1*}, Paulo E. D. Pinto^{1*}

¹IME/DICC, Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ)
Av. São Francisco Xavier, 524, Maracanã – 20550-013 – Rio de Janeiro – RJ

me@juanlopes.net, fabiano.oliveira@ime.uerj.br, pauloedp@ime.uerj.br

Abstract. *This paper introduces the concept of probabilistic implicit graph representations, extending the definition from [Spinrad 2003] by allowing the adjacency test to have a constant probability of false positives or false negatives. It also discusses two novel representations based on well-known probabilistic data structures: one that uses Bloom filters and can represent general graphs with the same space complexity as the adjacency matrix (but outperforms it for sparse graphs), and other that uses MinHash and can represent trees with lower space complexity than any deterministic implicit representation.*

1. Introdução

Uma *representação implícita de grafos* é um esquema de rotulação dos vértices que resulta numa representação eficiente em espaço e permite o teste de adjacência eficiente de um par de vértices através da comparação de seus rótulos [Muller 1988, Kannan et al. 1992, Spinrad 2003]. Mais formalmente, dada uma classe de grafos C com $2^{f(n)}$ membros de n vértices, uma representação é dita *implícita* se

1. é *assintoticamente ótima*, requerendo $O(f(n))$ bits para representar grafos de C ;
2. *distribui informação uniformemente* entre os vértices, ou seja, cada vértice é representado por um *rótulo* usando $O(f(n)/n)$ bits;
3. o *teste de adjacência é local*, isto é, para testar a adjacência entre qualquer par de vértices, somente seus rótulos são usados no processo.

Desta definição, segue-se que a *matriz de adjacências* é uma representação implícita para a classe que contém todos os grafos, pois há $2^{\Theta(n^2)}$ grafos com n vértices e a matriz de adjacência pode representá-los utilizando $\Theta(n^2)$ bits. Por outro lado, a *lista de adjacências* não é uma representação implícita, pois requer $\Theta(m \log n)$ bits para representar a mesma classe de grafos, que pode ser $\Theta(n^2 \log n)$ bits no pior caso (grafos completos).

Neste artigo introduzimos o conceito de *representação implícita probabilística de grafos*, que estende o conceito de representação implícita por relaxar uma das propriedades: o teste de adjacência admite uma probabilidade constante de falsos negativos ou falsos positivos (0% de probabilidade de falsos positivos/negativos implica uma representação implícita regular). Representações probabilísticas são mais eficientes em termos de espaço por permitir alguns resultados incorretos. Esta característica permite representar muitos grafos que não caberiam na memória principal com representações tradicionais. Em especial, beneficiam-se aplicações de grafos onde não é tão importante obter respostas exatas. Redes sociais, por exemplo, possuem grafos grandes e dinâmicos, onde mesmo operações simples como contagem de componentes não terminariam antes

*Projeto parcialmente financiado por FAPERJ.

do grafo provavelmente já ter sido modificado. Apresentaremos, neste artigo, duas novas representações implícitas probabilísticas, cada uma baseada em uma *estrutura de dados probabilística* distinta.

Estruturas de dados probabilísticas permitem representação eficiente de dados, com menores requisitos de espaço que as estruturas determinísticas. Neste artigo, usamos duas estruturas baseadas em *hash* para criar representações probabilísticas: *Filtro de Bloom* [Bloom 1970], que permite o teste de pertinência a um conjunto com 1% de falsos positivos, usando menos que 10 bits por elemento; e *MinHash* [Broder 1997, Li and König 2010], que permite estimar, para os conjuntos A e B , o coeficiente de *Jaccard* $J(A, B) = \frac{|A \cap B|}{|A \cup B|}$, representando cada conjunto com um número constante de bits.

2. Representação baseada em Filtro de Bloom

O Filtro de Bloom é uma estrutura de dados que representa um conjunto S e permite o teste de pertinência de elementos com alguma probabilidade de falsos positivos, sem admitir, entretanto, falsos negativos [Bloom 1970]. É implementada como um array M de m bits e k funções hash, independentes duas a duas $h_i : S \rightarrow [1; m]$ para $1 \leq i \leq k$. A inserção de um elemento x é feita computando k valores hash e atribuindo 1 aos índices correspondentes do array, ou seja, $M[h_i(x)] \leftarrow 1$ para $1 \leq i \leq k$. A pesquisa de pertinência para algum elemento x é feita verificando-se se todos os bits das posições referenciadas pelos valores hash estão ligados, isto é, $M[h_i(x)] = 1$ para todo $1 \leq i \leq k$. Se pelo menos um bit for 0, significa que, com 100% de certeza, o elemento não está no conjunto. Se todos os bits são 1, então o elemento pertence ao conjunto com alta probabilidade. A probabilidade de falsos positivos pode ser determinada pela probabilidade de colisões em todos os k valores hash, que é

$$\Pr[\text{FALSEP}] = \Pr \left[\bigwedge_{1 \leq i \leq k} M[h_i(x)] = 1 \right] = \left(1 - \left(1 - \frac{1}{m} \right)^{kn} \right)^k \approx (1 - e^{-kn/m})^k$$

Definindo $q = m/n$ como o número de bits por elemento de S no array M , é possível mostrar que a probabilidade de falsos positivos é minimizada quando $k = q \ln 2$. Então, temos: $\Pr[\text{FALSEP}] \approx (1 - e^{-\ln(2)})^{q \ln(2)} \approx (0.6185)^q$. Com 10 bits por elemento e 7 funções hash, estima-se a pertinência com menos de 1% de falsos positivos portanto.

Filtros de Bloom podem ser diretamente aplicados para representar as adjacências de cada vértice. Para tanto, cria-se um filtro de Bloom para cada vértice, representando as adjacências do mesmo. O conjunto dos filtros de Bloom para todos os vértices constitui uma representação implícita probabilística. Esta representação requer $\Theta(m)$ bits para representar qualquer grafo, o que a torna equivalente à matriz de adjacências no pior caso (grafos completos, por exemplo). Entretanto, esta representação tem menor complexidade de espaço para grafos esparsos que a representação determinística. De fato, ela é melhor para qualquer grafo com $m = o(n^2)$. Note que ela tem a propriedade de não permitir falsos negativos no teste de adjacência e, portanto, nunca deixará de reportar uma aresta existente, embora possa reportar uma não-aresta com pequena probabilidade.

3. Representação baseada em MinHash

MinHash (também conhecida como *min-wise hashing*) é uma estrutura de dados probabilística que representa conjuntos A e B e permite estimar seu coeficiente de Jaccard

$J(A, B) = \frac{|A \cap B|}{|A \cup B|}$ [Broder 1997]. Para tanto, computa-se a assinatura para cada conjunto S , usando k funções hash h_1, \dots, h_k , independentes duas a duas. Cada elemento na assinatura é o valor hash mínimo $h_i^{\min}(S) = \min\{h_i(x) : x \in S\}$ para $1 \leq i \leq k$. A probabilidade de dois conjuntos A e B terem um elemento comum às assinaturas é igual ao seu coeficiente de Jaccard, ou seja, $\Pr[h_i^{\min}(A) = h_i^{\min}(B)] = J(A, B)$. Então, a comparação de elementos correspondentes nas duas assinaturas forma um conjunto independente de estimadores não-enviesados para o coeficiente de Jaccard dos dois conjuntos. Assim, o aumento do número k de elementos da assinatura decresce a variância do estimador. Os limites de erro na estimativa de similaridade podem ser provados usando a desigualdade de Chernoff. Em especial, para atingir um fator de erro θ com probabilidade maior que $1 - \delta$, k deve ser definido de tal forma que $k \geq \frac{2+\theta}{\theta^2} \times \ln(2/\delta)$.

A idéia principal da representação baseada em MinHash é encontrar, para qualquer grafo $G = (V, E)$ de uma classe C , um método de construir conjuntos de representantes $S_v \neq \emptyset$ para $v \in V$, tal que $J(S_u, S_v) \geq \delta_B$ se e somente se $(u, v) \in E$ e $J(S_u, S_v) \leq \delta_A$ se e somente se $(u, v) \notin E$. Nenhum coeficiente de Jaccard entre conjuntos de representantes do grafo pode estar no intervalo $(\delta_A; \delta_B)$. Desta forma, a aresta (u, v) pode ser testada estimando-se $J(S_u, S_v) > \delta$ para algum $\delta_A \leq \delta \leq \delta_B$. A estimativa pode ser feita usando MinHash. Uma vez que as assinaturas requerem um número constante de elementos (que podem ser representados com um número constante de bits [Li and König 2010]), uma representação baseada em MinHash requer $O(n)$ bits para representar qualquer classe onde tal construção seja possível.

Apresentamos, a seguir, uma construção dos conjuntos para árvores com $\delta_A = 1/3$ e $\delta_B = 1/2$. Dada uma árvore T , a construção é feita recursivamente, enraizando a árvore em um vértice arbitrário v , definindo um conjunto para S_v com $2\Delta(T)$ inteiros arbitrários. Então, para cada nível na árvore enraizada, o procedimento alterna entre escolher um subconjunto ou estender o conjunto de cada vértice pai (exemplificado na Figura 1).

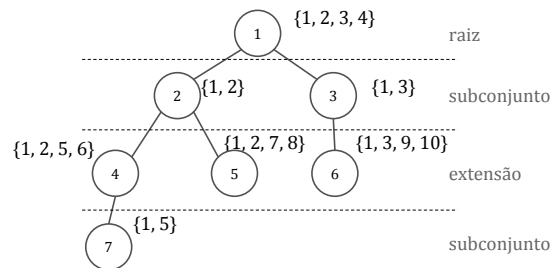


Figura 1. Construção de conjuntos para uma árvore exemplo.

A seleção de subconjuntos é feita tal que, para um conjunto $A = \{a_1, \dots, a_x\}$, selecionam-se $x/2$ subconjuntos, cada um com $x/2$ elementos, tendo cada par de subconjuntos $x/4$ elementos comuns. Desta forma, os subconjuntos $S_1, \dots, S_{x/2}$ de A são escolhidos tendo-se $J(S_i, S_j) = 1/3$ para $1 \leq i, j \leq x/2$ e $J(S_i, A) = 1/2$ para $1 \leq i \leq x/2$. O processo da seleção baseia-se na geração de uma cadeia binária s , com $|s| = x/2$ que represente a seleção de um subconjunto $S \subset A$ de modo que se o i -ésimo bit de s tem o valor b , então a_{2i-1+b} pertence a S . A geração das cadeias binárias pode ser feita através de uma construção iterativa, na qual partindo de uma matriz 1×1 , a cada passo a matriz é quadruplicada, sendo os bits do quadrante inferior direito invertidos. O processo de

construção, para um conjunto de 8 elementos, é exemplificado na Figura 2. A extensão de um conjunto A se dá pela inclusão de $|A|$ novos elementos únicos a toda a árvore.

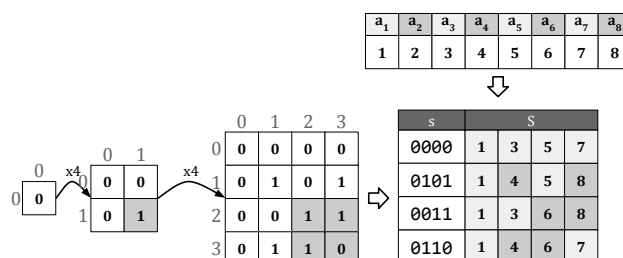


Figura 2. Exemplo de seleção de subconjuntos.

A assinatura MinHash é então computada para cada conjunto construído. As assinaturas são usadas como rótulos para os vértices correspondentes. Como este esquema de rotulação requer apenas $O(n)$ para representar árvores probabilisticamente, que é uma classe com $2^{\Theta(n \log n)}$ grafos com n vértices, podemos dizer que ela tem melhor complexidade de espaço que a representação determinística ótima.

4. Considerações sobre grafos bipartidos

[Spinrad 2003] mostra que qualquer classe hereditária de grafos com $2^{\Theta(n^2)}$ membros com n vértices deve incluir inteiramente uma das classes: bipartidos, co-bipartidos ou split. Além disso, é possível transformar qualquer grafo $G = (V, E)$ para um grafo bipartido $G' = (V', E')$ tal que $V' = \{v_1, v_2 : v \in V\}$ e $E' = \{(v_1, u_2), (u_1, v_2) : (v, u) \in E\}$. Qualquer representação eficiente para G' pode ser usada para representar eficientemente G . Isto torna a pesquisa de representações implícitas para grafos bipartidos especialmente relevante. Entretanto, é possível provar que não existem certas representações probabilísticas. Por exemplo, é impossível construir uma representação baseada em MinHash com $\delta_A = 0.4$ e $\delta_B = 0.6$ para $K_{3,3}$, mostrando a inviabilidade de solução de um problema de programação linear inteira. A decisão da existência ou não de representação implícita probabilística para grafos em geral permanece um problema em aberto.

Referências

- Bloom, B. H. (1970). Space/time trade-offs in hash coding with allowable errors. *Communications of the ACM*, 13(7):422–426.
- Broder, A. Z. (1997). On the resemblance and containment of documents. In *Compression and Complexity of Sequences 1997. Proceedings*, pages 21–29. IEEE.
- Kannan, S., Naor, M., and Rudich, S. (1992). Implicit representation of graphs. *SIAM Journal on Discrete Mathematics*, 5(4):596–603.
- Li, P. and König, A. C. (2010). b-bit minwise hashing. In *Nineteenth International World Wide Web Conference (WWW 2010)*. Association for Computing Machinery, Inc.
- Muller, J. H. (1988). *Local structure in graph classes*. PhD thesis, Georgia Institute of Technology.
- Spinrad, J. P. (2003). *Efficient graph representations*. American mathematical society.

Epistemic Logic Based on Dolev-Yao Model

Mario R. F. Benevides, Luiz C. F. Fernandez, Anna C. C. M. de Oliveira

¹Instituto de Matemática e Programa de Engenharia de Sistemas e Computação
COPPE - Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) – Rio de Janeiro, RJ – Brazil

{mario,lcfernandez,acoliveira}@cos.ufrj.br

***Abstract.** In this work, we extend multi-agent epistemic logic for reasoning about properties in protocols. It is based on Dolev-Yao model and uses structured propositions, a new technique to deal with messages, keys and properties in security protocols in an uniform manner, keeping the logic propositional. In order to illustrate the applicability of this new logic, an example is presented.*

1. Introduction

There are many approaches to formally verify authenticity and secrecy in communication protocols. In this work we are most interested in logical approaches to deal with that kind of system, in particular based on [Dolev and Yao 1983].

Epistemic logics deal with concepts like knowledge and believes. Many of these logics have been tailored to be applied to computer science problems. They have a semantics based on [Lamport 1978] and can be used for protocol verification.

Some approaches use epistemic logic for reasoning about protocol specifications [Cohen and Dam 2007, Boureau et al. 2009, Kramer 2008]. The most important feature that differentiate our approach is the use of structured propositions, i.e., these are propositions that have some kind of inner structure. Allowing for the development of a new technique to deal with security protocols in an uniform way, keeping the logic propositional.

In section 2 we present the Dolev-Yao model. Section 3 introduces the Dolev-Yao multi-agent epistemic logic and section 4 provides some future works and final remarks.

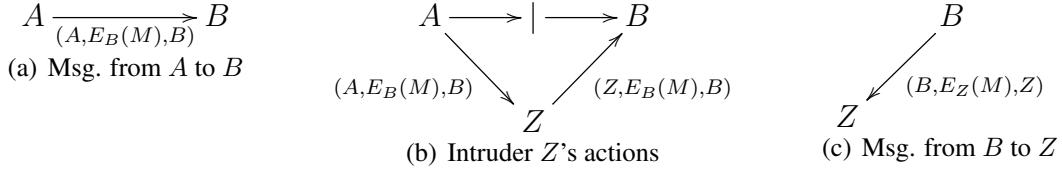
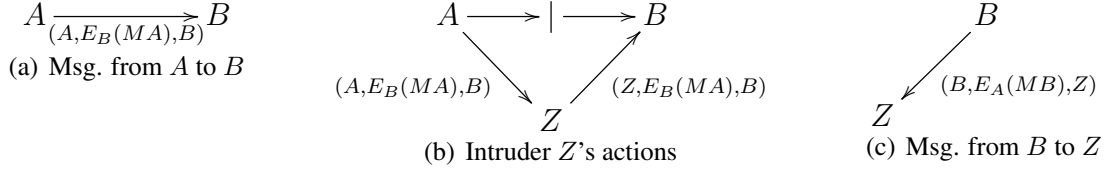
2. Dolev-Yao Model

Introduced in [Dolev and Yao 1983], this is a seminal work in this area. They work with symmetric public key protocols and consider a perfect encryption, i.e., the keys used are unbreakable. We present the system followed by examples and rules that can be obtained.

2.1. Public Key Protocols

We assume that every user X in network has an encryption function E_X (public) and a decryption function D_X (known only by X). The requirements are: $E_X D_X(M) = D_X E_X(M) = M$; and for any user Y knowing $E_X(M)$ does not reveal anything about M . In this model, we are reasoning about the intruder knowledge, where the intruder is a user who wants to obtain the content of other users' communication.

Example 1 *A sends message M to B [Fig. 1(a)]; intruder Z intercepts this message and sends message $(Z, E_B(M), B)$ to B [Fig. 1(b)]; B sends message $(B, E_Z(M), Z)$ to Z [Fig. 1(c)], Z decodes $E_Z(M)$ and obtains M .*


Figure 1. Illustration of Example 1.

Figure 2. Illustration of Example 2.

Example 2 A sends message MA to B and B replies to the user that is encrypted with the message M and not to the sender [Fig. 2(a)]; intruder Z intercepts this message and sends message $(Z, E_B(MA), B)$ to B [Fig. 2(b)]; B sends message $(B, E_A(MB), Z)$ to Z [Fig. 2(c)] and Z **cannot** decode $E_A(MB)$ to obtain M .

2.2. Rules

These rules are not presented in the original paper, but they can easily be obtained from the theory presented there. Here, we are assuming a set $\mathcal{K} = \{K_1, \dots\}$ of keys, a set T represent a intruder knowledge and an encryption function $\{M\}_K$, which encrypt a message M under key K . A user can only decrypt an encrypted message $\{M\}_K$ if he knows the key K .

$$\begin{aligned}
 \text{Reflexivity: } & \frac{M \in T}{T \vdash M} & \text{Encryption: } & \frac{T \vdash K \quad T \vdash M}{T \vdash \{M\}_K} & \text{Decryption: } & \frac{T \vdash \{M\}_K \quad T \vdash K}{T \vdash M} \\
 \text{Pair-Composition: } & \frac{T \vdash M \quad T \vdash N}{T \vdash (M, N)} & \text{Pair-Decomposition: } & \frac{T \vdash (M, N)}{T \vdash M} & & \frac{T \vdash (M, N)}{T \vdash N}
 \end{aligned}$$

3. Dolev-Yao Multi-Agent Epistemic Logic

This section presents the Dolev-Yao multi-agent epistemic logic $\mathbf{S5}_{\text{DY}}$. It is aimed to reasoning about knowledge in protocols, i.e., *keys*, *messages*, *encryption/decryption*, *agents* and so on. We propose this new semantics and an axiomatization for this logic.

3.1. Language and Semantics

There is a novelty in the language of $\mathbf{S5}_{\text{DY}}$, formulas are built from expressions and not only from proposition symbols. Intuitively, an expression is any peace of information that can be encrypted, decrypted or concatenated in order to be communicated.

Definition 1 *The Dolev-Yao multi-agent epistemic language consists of a set Φ of countably many proposition symbols, a finite set \mathcal{A} of agents, a set of keys $\mathcal{K} = \{k_1, \dots\}$, the boolean connectives \neg and \wedge , a modality K_a for each agent a ¹. The expressions and formulas are defined as follows:*

¹We use the standard abbreviations $\perp \equiv \neg\top$, $\varphi \vee \phi \equiv \neg(\neg\varphi \wedge \neg\phi)$, $\varphi \rightarrow \phi \equiv \neg(\varphi \wedge \neg\phi)$ and $B_a\varphi \equiv \neg K_a\neg\varphi$.

$$E ::= p \mid k \mid (E_1, E_2) \mid \{E\}_k, \text{ where } k \in \mathcal{K}.$$

$$\varphi ::= e \mid \top \mid \neg\varphi \mid \varphi_1 \wedge \varphi_2 \mid K_a\varphi, \text{ where } e \in E, a \in \mathcal{A}.$$

Definition 2 A multi-agent epistemic frame is a tuple $\mathcal{F} = (S, \sim_a)$ where:

- S is a non-empty set of states;
- \sim_a is a reflexive, transitive and symmetric binary relation over S , for each $a \in \mathcal{A}$.

Definition 3 A multi-agent epistemic model is a pair $\mathcal{M} = (\mathcal{F}, V)$, where \mathcal{F} is a frame and V is a valuation function $V : E \rightarrow 2^S$ satisfying the following conditions:

1. $V(m) \cap V(k) \subseteq V(\{m\}_k)$
2. $V(\{m\}_k) \cap V(k) \subseteq V(m)$
3. $V(m) \cap V(n) = V((m, n))$

We call a rooted multi-agent epistemic model (\mathcal{M}, s) an epistemic state. Condition 1 ensures that, in any state, if we have a message m and a key k , then we must have the encrypted message $\{m\}_k$. Condition 2 establishes that if we have a encrypted message $\{m\}_k$ and a key k , then we must be able to decrypt it and obtain m . Condition 3 says that in any state, we have messages m and n iff we have the pair (m, n) .

Definition 4 Let $\mathcal{M} = \langle S, \sim_a, V \rangle$ be a multi-agent epistemic model. The notion of satisfaction $\mathcal{M}, s \models \varphi$ is defined as follows:

- $\mathcal{M}, s \models e$ iff $s \in V(e)$
- $\mathcal{M}, s \models \neg\phi$ iff $\mathcal{M}, s \not\models \phi$
- $\mathcal{M}, s \models \phi \wedge \psi$ iff $\mathcal{M}, s \models \phi$ and $\mathcal{M}, s \models \psi$
- $\mathcal{M}, s \models K_a\phi$ iff for all $s' \in S$, if $s \sim_a s'$ then $\mathcal{M}, s' \models \phi$

3.2. Axiomatization

1. All instantiations of propositional tautologies,
2. $K_a(\varphi \rightarrow \psi) \rightarrow (K_a\varphi \rightarrow K_a\psi)$,
3. $K_a\varphi \rightarrow \varphi$,
4. $K_a\varphi \rightarrow K_aK_a\varphi$ (+ introspection),
5. $\neg K_a\varphi \rightarrow K_a\neg K_a\varphi$ (- introspection),
6. $K_a m \wedge K_a k \rightarrow K_a\{m\}_k$ (encryption),
7. $K_a\{m\}_k \wedge K_a k \rightarrow K_a m$ (decryption),
8. $K_a m \wedge K_a n \leftrightarrow K_a(m, n)$ (pair composition & decomposition).

Inference Rules - **M.P.**: $\varphi, \varphi \rightarrow \psi / \psi$; **U.G.**: $\varphi / K_a\varphi$; **Sub.**: $\varphi / \sigma\varphi$ ²

Theorem 1 $S5_{DY}$ is sound and complete w.r.t. the class of $S5_{DY}$ models. □

Example 3 Returning to example 1. We have three agents: A , B and Z . We assume that $k_{XY} = k_{YX}$ for every agent X and Y .

²Where σ is a map uniformly substituting formulas for propositional variables. Axioms 1-5 are standard in literature [Fagin et al. 1995]. Axioms 6-8 enforces the semantical properties of the valuation function, i.e., conditions of definition 3.

$$\begin{array}{ll}
 0. & KB_0 = \{K_A k_{AB}, K_B k_{AB}, K_B k_{BZ}, K_Z k_{BZ}, K_A m\} \quad \text{initial knowledge} \\
 & \quad \text{\scriptsize } \downarrow \text{send}_{AB}(\{m\}_{k_{AB}}) \\
 & \quad \quad \quad \text{---} \\
 & \quad \quad \quad \text{\scriptsize } \downarrow \text{Z intercepts} \\
 1. & KB_1 := KB_0 \cup K_Z \{m\}_{k_{AB}} \\
 & \quad \text{\scriptsize } \downarrow \text{send}_{ZB}(\{m\}_{k_{AB}}) \\
 2. & KB_2 := KB_1 \cup K_B \{m\}_{k_{AB}} \\
 & \quad \quad \quad K_B m \quad \quad \quad ax. 7 \\
 & \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad K_B \{m\}_{k_{ZB}} \quad \quad \quad ax. 6 \\
 & \quad \quad \quad \text{\scriptsize } \downarrow \text{send}_{BZ}(\{m\}_{k_{BZ}}) \\
 3. & KB_3 := KB_2 \cup K_Z \{m\}_{k_{BZ}} \\
 & \quad \quad \quad K_Z m \quad \quad \quad ax. 7
 \end{array}$$

Intruder Z knows M.

4. Final Remarks

In this work, we have presented a new epistemic logic to reasoning about security protocols. This logic introduces a new semantics based on structured propositions. Instead of building formulas from atomic propositions, they are built from expressions. The latter, are any piece of information that can appear in protocols: keys, messages, agents, encrypted messages or any combination of these informations in pairs.

We propose this new semantics and an axiomatization for this logic. We also prove soundness and completeness.

Acknowledgements: We would like to thank anonymous referees for their profitable comments.

References

- Boueanu, I., Cohen, M., and Lomuscio, A. (2009). Automatic verification of temporal-epistemic properties of cryptographic protocols. *Journal of Applied Non-Classical Logics*, 19(4):463–487.
- Cohen, M. and Dam, M. (2007). A complete axiomatization of knowledge and cryptography. In *22nd IEEE Symposium on Logic in Computer Science (LICS 2007), 10-12 July 2007, Wroclaw, Poland, Proceedings*, pages 77–88.
- Dolev, D. and Yao, A. C. (1983). On the security of public key protocols. *Information Theory, IEEE Transactions on*, 29(2):198–208.
- Fagin, R., Halpern, J. Y., Moses, Y., and Vardi, M. Y. (1995). *Reasoning About Knowledge*. MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- Kramer, S. (2008). Cryptographic Protocol Logic: Satisfaction for (timed) Dolev-Yao cryptography. *Journal of Logic and Algebraic Programming*, 77(1–2).
- Lamport, L. (1978). Time, clocks, and the ordering of events in a distributed system. *Commun. ACM*, 21(7):558–565.

Edge-colouring of triangle-free graphs with no proper majors

Leandro M. Zatesko^{1,2}, Renato Carmo¹, André Luiz P. Guedes¹

¹Department of Informatics, Federal University of Paraná, Curitiba, Brazil

²Federal University of Fronteira Sul, Chapecó, Brazil

leandro.zatesko@uffs.edu.br, {renato, andre}@inf.ufpr.br

Abstract. *The problem of determining the chromatic index of a graph, even when triangle-free, is NP-hard. However, the Overfull Conjecture implies that this problem can be solved in polynomial time for graphs with large maximum degree. In order to prove the conjecture, it is sufficient to show that all non-subgraph-overfull graphs with $\Delta > n/3$ are Class 1. A special case of non-subgraph-overfull graphs are the graphs with no proper majors. We show that all triangle-free graphs with no proper majors, regardless of maximum degree, are Class 1. We also provide a polynomial-time algorithm to colour such graphs.*

1. Introduction

Throughout this text, a *graph* is always a simple graph, which means undirected, loopless and with no multiple edges. We follow the usual definitions and notation for graph-theoretical related concepts. In particular, given a vertex u in a graph G , we denote the *set of neighbours* of u in G by $N_G(u)$ and the *degree* of u in G by $d_G(u) = |N_G(u)|$.

Let G be an n -order graph of maximum degree Δ . A k -*edge-colouring* of G is a function $\varphi: E(G) \rightarrow [1..k]$ such that adjacent edges have different images (or *colours*). The *chromatic index* of G , denoted by $\chi'(G)$, is the least k for which G is k -edge-colourable. A breakthrough by [Vizing 1964] uses a recolouring procedure in order to show that $\chi'(G)$ is either Δ or $\Delta + 1$. The graph G is said to be *Class 1* (*Class 2*) in the former (latter) case. Deciding if a graph is *Class 1* is an NP-complete problem [Holyer 1981], even when restricted to triangle-free graphs with $\Delta = 3$ [Koreas 1997].

We say that G is *overfull* if it has more than $\Delta \lfloor n/2 \rfloor$ edges, or, equivalently, if n is odd and $\sum_{u \in V(G)} (\Delta - d_G(u)) \leq \Delta - 2$ [Niessen 1994]. We say that G is *subgraph-overfull* (*SO*) if it has a Δ -*overfull* subgraph, i.e. an overfull subgraph H with $\Delta(H) = \Delta$. Being *SO* is clearly a sufficient condition for G to be *Class 2*. The *Overfull Conjecture* states that this condition is also necessary when $n > \Delta/3$ [Hilton and Johnson 1987]. This is particularly interesting because deciding if G is *SO* can be done in polynomial-time when $\Delta > n/3$ and in linear-time when $\Delta \geq n/2$ [Niessen 2001]. The conjecture holds for triangle-free graphs with $\Delta \geq n/2$ (which are all *Class 1*) [Zorzi and Zatesko 2016].

Following [Niessen 1994], we call a vertex of maximum degree in G a *major* of G . A *proper major* of G is a major x of G which satisfies

$$\sum_{u \in N_G(x)} (\Delta - d_G(u)) \leq \Delta - 2. \quad (1)$$

We remark that x being a proper major does not imply that $H := N_G(x) \cup \{x\}$ induces an overfull graph, because for that to happen we should have (1) holding even when replacing

G by H . A *non-proper major* is a major which is not proper. As overfull graphs do not have non-proper majors [Niessen 1994], no graph with no proper majors can be *SO*. We show that all triangle-free graphs with no proper majors are *Class 1*, even if $\Delta \leq n/3$.

2. The result

We use in our result (Theorem 3) a lemma from [Zorzi and Zatesko 2016] which is a variation of Vizing's recolouring procedure [Vizing 1964]. We restate this lemma (Lemma 1) in terms of two properties, defined below, about a sequence of distinct vertices $\sigma = v_0, \dots, v_k$ of a graph G . For the statements of the properties and of the lemma, let $\varphi: E(G) \rightarrow \mathcal{C}$ be a t -edge-colouring of G and uv be a non-edge of G .

Property \mathcal{P}_1 . *All of the following holds:*

1. $v_0 = v$ and $\{v_1, \dots, v_k\} \subseteq N_G(u)$;
2. for all $i \in \{0, \dots, k-1\}$, either v_i misses a colour α_i , or $i > 0$ and some $w_i \in N_G(v_i) \setminus (N_G(u) \cup \{v_0\})$ misses α_{i-1} , in which case we define $\alpha_i := \varphi(v_i w_i)$;
3. for all $i \in \{1, \dots, k\}$, we have $\varphi(uv_i) = \alpha_{i-1}$.

In Property $\mathcal{P}_1.2$, when v_i does not actually miss a colour α_i , but has a neighbour w_i which misses α_{i-1} , we say that v_i misses the colour $\alpha_i := \varphi(v_i w_i)$ *virtually*.

Property \mathcal{P}_2 . *One of the following holds:*

1. there is a colour missing at both v_k and u ;
2. $k > 0$ and the colour α_j , for some $j < k$, is missing at v_k ;
3. $k > 0$ and there is a vertex $w_k \in N_G(v_k) \setminus (N_G(u) \cup \{v_0\})$ which misses α_{k-1} such that $\varphi(v_k w_k)$ is missing at u or is equal to α_j for some $j < k$.

Lemma 1 [Zorzi and Zatesko 2016]. *If u misses a colour of \mathcal{C} and there is a sequence of distinct vertices $\sigma = v_0, \dots, v_k$ satisfying both Properties \mathcal{P}_1 and \mathcal{P}_2 , then $G + uv$ is also t -edge-colourable.*

For any two colours α and β used in an edge-colouring of a graph G , we define $G[\alpha, \beta]$ as the subgraph of G induced by all the edges coloured with α or β . Notice that every component of $G[\alpha, \beta]$ is a path or an even cycle. Considering this, it is worth remarking the following about Lemma 1, which, by the way, can be used to prove that every graph with no major vertex belonging to an odd cycle is *Class 1*.

Observation 2. *For every sequence $\sigma = v_0, \dots, v_k$ satisfying Property \mathcal{P}_1 , we can assume without loss of generality:*

1. Every colour $\beta \in \mathcal{C}$ missing at u is not missing at any v_i for $i \in \{0, \dots, k-1\}$, since otherwise, by taking the least such i , the sequence v_0, \dots, v_i would already satisfy all the properties required in Lemma 1.
2. For all $\beta \in \mathcal{C}$ missing at u and all $i \in \{0, \dots, k-1\}$, the vertices u and v_i belong to the same component P in $G[\alpha_i, \beta]$, since otherwise, by exchanging the colours of the component to which u belongs, the sequence v_0, \dots, v_i would itself satisfy all the properties required in Lemma 1. Note that P is a path, u is an outer vertex of P and, if v_i does not miss α_i virtually, the other outer vertex is v_i .
3. For all $i \in \{1, \dots, k-1\}$ and all $j \in \{0, \dots, i-1\}$, α_i is not missing at v_j nor is $\varphi(v_j w_j)$ for some $w_j \in N_G(v_j) \setminus (N_G(u) \cup \{v_0\})$ which misses α_{j-1} , since otherwise, by repeatedly taking such i and j , we would be able to choose α_i for the role of α_j , thus replacing $\sigma = v_0, \dots, v_k$ by $\sigma' = v_0, \dots, v_j, v_{i+1}, \dots, v_k$.

Now we are ready to present our result:

Theorem 3. *Every triangle-free graph with no proper major vertex is Class 1.*

Proof. Let G be a triangle-free graph with maximum degree Δ . We shall prove for all $F \subseteq E(G)$ that $G[F]$ is Δ -edge-colourable (which does not necessarily mean that $G[F]$ is Class 1 when $\Delta(G[F]) < \Delta$). Since $G[\emptyset]$ is Δ -edge-colourable, assume $|F| > 0$ and, by induction, that $G[F']$ is Δ -edge-colourable for all $F' \subseteq E(G)$ such that $|F'| < |F|$.

Let uv be any edge in F and $H := G[F \setminus \{uv\}]$. By the induction hypothesis, H admits a Δ -edge-colouring $\varphi: E(H) \rightarrow \mathcal{C}$. Let $\sigma = v_0, \dots, v_k$ be a maximal sequence satisfying Property \mathcal{P}_1 and all the properties discussed in Observation 2. The sequence σ must be non-empty, since both u and v have degree less than Δ in H and thence miss a colour of \mathcal{C} each. If σ also satisfies Property \mathcal{P}_2 , we can apply Lemma 1 to show that $G[F]$ is Δ -edge-colourable and the proof is concluded. In case σ fails to satisfy Property \mathcal{P}_2 , we demonstrate how to obtain a new sequence satisfying the two properties.

By the maximality of σ , it is straightforward to verify that the only possible reason for σ not satisfying Property \mathcal{P}_2 would be if $d_H(v_k) = \Delta$ and no vertex in $N_H(v_k) \setminus (N_H(u) \cup \{v_0\})$ missed $\alpha_{k-1} = \varphi(uv_k)$. By the way, note that $N_H(v_k) \setminus (N_H(u) \cup \{v_0\}) = N_H(v_k)$, since H is triangle-free. We have the following two cases to investigate.

Case 1. There is some colour β missing at u and also at some $y \in N_H(v_k) \setminus \{u\}$.

By Observation 2 we know that u and v_{k-1} belong to the same component P of $H[\alpha_{k-1}, \beta]$, which is a path and have u as one of its outer vertices. We have two sub-cases.

1. If y does not belong to P , then by exchanging the colours of the component of y in $H[\alpha_{k-1}, \beta]$ (also a path), we obtain a vertex in $N_H(v_k)$ missing α_{k-1} as desired. Furthermore, this does not cause any v_i with $i \in \{0, \dots, k-2\}$ to miss β because, by Observation 2, neither β nor α_{k-1} is missing at v_i .
2. If y is in P , it is the other outer vertex of P , so v_{k-1} is an inner vertex of P and thence misses α_{k-1} virtually. Then, we first uncolour the edge $v_{k-1}w_{k-1}$ (which was coloured with α_{k-1}). Now, u and y are not in the same component of $H[\alpha_{k-1}, \beta]$ any more, and we are back to the previous sub-case. According to [Zorzi and Zatesko 2016], after the recolouring procedure is fully performed, v_{k-1} will miss α_{k-2} , and we will be able to colour $v_{k-1}w_{k-1}$ with α_{k-2} . See Figure 1 on the next page.

Note that neither sub-case interferes in any v_i for $i \in \{0, \dots, k-1\}$.

Case 2. No vertex in $N_H(v_k) \setminus \{u\}$ misses α_{k-1} or any colour missing at u .

First recall that $d_H(v_k) = d_G(v_k) = \Delta$, $d_H(u) < d_G(u)$ and, thus,

$$\sum_{y \in N_H(v_k)} (\Delta - d_H(y)) \geq \sum_{y \in N_G(v_k)} (\Delta - d_G(y)) + 1 \geq \Delta.$$

Hence, by the Pigeonhole Principle, there must be two vertices $y_1, y_2 \in N_H(v_k) \setminus \{u\}$ missing the same colour $\gamma \in \mathcal{C}$. As it is possible for only one among y_1 and y_2 to belong to the same component of $H[\beta, \gamma]$ as u , say y_1 , exchanging the colours of the component to which y_2 belongs yields β missing at both u and y_2 . It should be noticed that this operation may cause some v_i with $i \in \{0, \dots, k-1\}$ to miss β . In this case v_0, \dots, v_i would satisfy the two properties and we would be done. Otherwise, we are back to Case 1.

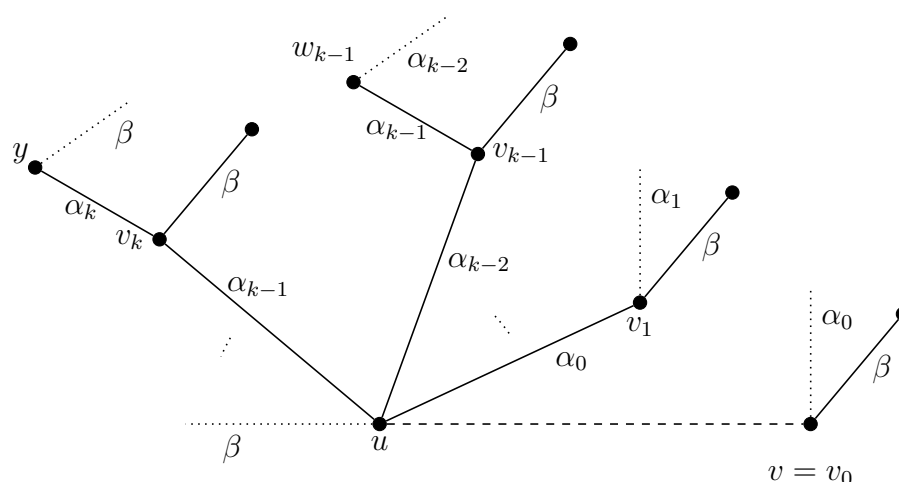


Figure 1. An illustration for Case 1.2. Here, the dashed line indicates the edge to be coloured and the dotted lines indicate the colours missing at the vertices.

Now, if we are not done yet, the sequence still satisfies Property \mathcal{P}_1 and there is some $w_k \in N_H(v_k)$ which misses α_{k-1} and defines $\alpha_k := \varphi(v_k w_k)$. So, if the sequence does not satisfy also Property \mathcal{P}_2 , we can continue to construct it by appending to it the vertex v_{k+1} such that $\varphi(uv_{k+1}) = \alpha_k$, and so on, until the two properties are satisfied. In the process, we may append a major vertex x which does not have a neighbour missing $\varphi(ux)$, but this situation we have shown how to handle. \square

We finish by pointing out that the edge-colouring process described in the proof of Theorem 3 can be performed in polynomial time.

References

- Hilton, A. J. W. and Johnson, P. D. (1987). Graphs which are vertex-critical with respect to the edge-chromatic number. *Math. Proc. Cambridge Philos. Soc.*, 102:103–112.
- Holyer, I. (1981). The NP-completeness of edge-colouring. *SIAM J. Comput.*, 10(4):718–720.
- Koreas, D. P. (1997). The NP-completeness of chromatic index in triangle free graphs with maximum vertex of degree 3. *J. Appl. Math. Comput.*, 93:13–17.
- Niessen, T. (1994). How to find overfull subgraphs in graphs with large maximum degree. *Discrete Appl. Math.*, 51:117–125.
- Niessen, T. (2001). How to find overfull subgraphs in graphs with large maximum degree, II. *Electron. J. Combin.*, 8.
- Vizing, V. G. (1964). On an estimate of the chromatic class of a p -graph. *Diskret. Analiz.*, 3:25–30. In Russian.
- Zorzi, A. and Zatesko, L. M. (2016). On the chromatic index of join graphs and triangle-free graphs with large maximum degree. *Discrete Appl. Math.* Article in press: <http://dx.doi.org/10.1016/j.dam.2016.10.022>.

NEW INSIGHTS ON PRIZE COLLECTING PATH PROBLEMS

Edcarllos Santos, Alfredo Candia-Véjar, Luiz Satoru Ochi, Luidi Simonetti, Uéverton S. Souza¹

¹Instituto de Computação – UFF, Niterói, Brasil
Facultad de Ingeniería - Universidad de Talca, Talca, Chile
Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil

Abstract. *Given a graph G and a pair s, t in $V(G)$, where each edge e has a weight $t(e)$ and each vertex v has a value $p(v)$ such that $t(e)$ represent a transportation time and $p(v)$ a prize collecting. Prize Collecting Path (PCP) consists of finding a (s, t) -path that minimizes the total transportation time minus the total prize of nodes in such path. PCP is at core of numerous relevant applications in several fields like telecommunications, transportation and logistics. In this paper, the complexity behavior of the problem is analyzed. For some cases we prove that PCP is NP-complete, these results lead to the generation of new sets of benchmark instances that are computationally hard according to natural characteristics of the problem. In addition, polynomial time algorithms are described for other cases and a mathematical formulation is introduced to solve general instances of PCP.*

Prize Collecting Path problem

Let $G = (V, A)$ be a directed and connected graph, where V is the set of nodes and A is the set of arcs. We assume that there exist n nodes and m arcs. Associated with the set of nodes there is a prize function $\mathbf{p} : V \rightarrow \mathbb{R}_{>0}$. Likewise, associated with the set of arcs there is a transportation time function $\mathbf{t} : A \rightarrow \mathbb{R}_{>0}$. Node $s \in V$ and $t \in V$ correspond, respectively, to source and target node. Let \mathcal{P}_{st} be the set of all (s, t) -paths in G connecting s and t . The PCP consists on finding a (s, t) -path that minimizes the total transportation time cost minus the total prize of the nodes belonging to the (s, t) -path. PCP can be also defined as the following 0-1 integer programming problem:

$$\min \quad \sum_{(ij) \in A} t_{ij} x_{ij} - \sum_{j \in V} p_j z_j \quad (1)$$

$$\text{s.t.} \quad \mathbf{x} \in \mathcal{P}_{st}, \quad 0 \leq x_{ij} \leq 1 \quad (2)$$

Variables are represented by the binary vectors $\mathbf{x} \in \{0, 1\}^{|A|}$ and $\mathbf{z} \in \{0, 1\}^{|V|}$; such that $x_{ij} = 1$ if arc $(ij) \in A$ is used by a (s, t) -path and $x_{ij} = 0$ otherwise, and $z_i = 1$ if node $i \in V$ is visited by a (s, t) -path, and $z_i = 0$ otherwise. A feasible (s, t) -path is induced by a vector \mathbf{x} that belongs to the following set:

$$\mathcal{P}_{st} = \left\{ \mathbf{x} \in \{0, 1\}^{|A|} \left| \begin{array}{l} \sum_{(sj) \in \delta^+(s)} x_{sj} = 1 \\ \sum_{(jh) \in \delta^+(t)} x_{jh} - \sum_{(kj) \in \delta^-(j)} x_{kj} = 0, \forall j \in V \setminus \{s, t\} \\ \sum_{(jt) \in \delta^-(t)} x_{jt} = 1 \end{array} \right. \right\} \quad (3)$$

For a given vector $\mathbf{x} \in \mathcal{P}_{st}$, variables \mathbf{z} are related as follows:

$$z_j \leq \sum_{(ij) \in \delta^-(j)} x_{ij}, \forall j \in V \setminus \{s, t\} \quad (4)$$

$$z_s \geq 1 \quad (5)$$

$$z_t \geq 1 \quad (6)$$

NP-completeness

Definition 1 Given a graph G , a (s, t) -hamiltonian path is a simple path between two nodes (source and target) that visits each node exactly once. The (s, t) -Hamiltonian Path problem (for short, HP) is about determine whether a given graph contains a Hamiltonian path starting in s and finishing in t .

Theorem 1.1 $HP \propto PCP$.

Proof. Given a graph $G = (V, E)$ where V is the set of nodes and E is the set of edges. Let nodes $\{s, t\} \in V$, represents the source and target nodes, respectively. We construct an instance G' of PCP as follows: (i) set $G' = G$; (ii) for each edge e of G' we associate a transportation time t_e of value 1; and (iii) for each node v of G' we assign a prize p_v of value 2 ($p_s = p_t = 0$).

(\Rightarrow) Since Hamiltonian path visits all nodes of a graph, all possible (s, t) -hamiltonian paths in G is composed by $|V|$ nodes and $|V| - 1$ edges, such way in G' the sum of transportation time for edges of these paths is equal $|V| - 1$ and the sum of prizes for nodes is $2(|V| - 2)$. Thus such (s, t) -hamiltonian paths have cost according to Equation 1 equal to $-|V| + 3$ in G' .

(\Leftarrow) Let $p \in \mathcal{P}_{st}$ be a solution of PCP with $-|V| + 3$ cost in G' and $I_p = V(p) \setminus \{s, t\}$. Since all paths in \mathcal{P}_{st} are simple path, *i.e.*, each node is visited just once. For each node $v \in I_p$, there is exactly one incoming edge $e_i \in E$ used in p . As any node $v \in I_p$ has prize $p_v = 2$, then each node v contribute with $(t_{e_i} - p_v) = -1$ in PCP objective function. Hence p has cost $-|I_p| + 1$, once t has no prize associated. Consequently $-|I_p| + 1 = -|V| + 3$ and $|I_p| = |V| - 2$ which implies that path p is hamiltonian in G . ■

Corollary 1.2 *PCP is NP-hard.*

Proof. Follows from Theorem 1.1 and the fact that Hamiltonian Path problem is NP-complete [Karp(1972)].

Definition 2 *Given a acyclic digraph $D = (V, A)$ where V is the set of nodes and E is the set of arcs. Let nodes $\{s, t\} \in V$, represents the source and target nodes, respectively. For each arc $a \in A$ there is a arbitrary weight w_a (not necessarily greater than zero). The Shortest Path with Arbitrary Weights problem (SPAW) is about to determine the shortest simple path from s to t in G .*

Theorem 1.3 *PCP \propto SPAW.*

Proof. Given a graph $G = (V, E)$ where $V(G)$ is the set of nodes and $E(G)$ is the set of edges. Let $\{s, t\} \in V(G)$ be nodes representing the source and target vertices, respectively. Each edge $e \in E(G)$ has an associated transportation time t_e , and every node $v \in V(G)$ has an assigned prize p_v , where $p_s = p_t = 0$.

From G we construct an instance G' of SPAW as follows: (i) set $G' = G$; (ii) each undirected edge $e = (u, v) \in E(G)$ is converted in two arcs $a_1 = (u, v), a_2 = (v, u) \in E(G')$ of opposite ways, where the weights w_{a_i} of a_i ($i \in \{1, 2\}$) is defined by $(t_e - p_{h(e)})$, where $p_{h(e)}$ is the prize assigned to the head node of a_i .

(\Rightarrow) Let $p = s, v_1, v_2, \dots, v_k, t \in \mathcal{P}_{st}$ be a solution of PCP in G . The cost for path p in G , according to Equation 1, is

$$\sum_{e \in E(p)} t_e - \sum_{v \in V(p)} p_v.$$

In G' , the cost of p is defined by

$$\sum_{a \in A(p)} w_a$$

that is equivalent to

$$\sum_{e \in E(p)} (t_e - p_{h(e)})$$

which, by additivity, is equal to

$$\sum_{e \in E(p)} t_e - \sum_{e \in E(p)} p_{h(e)}.$$

As source and target nodes have null prizes then p has the same cost in both problems.

(\Leftarrow) By construction, any (s, t) -path p of G' is also an (s, t) -path of G , and as shown previously, p has the same cost in both instances. ■

By Theorem 1.1 and Theorem 1.3 $HP \propto PCP \propto SPAW$. This gives us a mapping of the complexity of the PCP problem, providing sufficient conditions for the problem becomes polynomial or NP-hard. Figure 1 illustrates the relation of complexity between the problems. More precisely, Theorem 1.1 and Theorem 1.3 implies the following corollaries.

Corollary 1.4 For any graph class \mathcal{C} such that HP on \mathcal{C} is NP-hard, the PCP problem on \mathcal{C} is also NP-hard.

Corollary 1.5 Any instance \mathcal{I} of PCP can be solved in polynomial time whether the instance $g(\mathcal{I})$ of SPAW can be solved in polynomial time, where g returns a digraph constructed as described in the proof of Theorem 1.3.

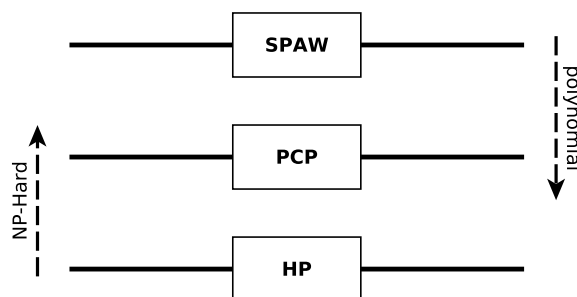


Figure 1. Some considerations for PCP and related problems

Corollary 1.6 PCP can be solved in polynomial time when the input G does not contain cycles $C = v_1, v_2, \dots, v_k$ such that $\sum (t_e - p_{v_j}) < 0, e = v_i, v_j, 1 \leq i \leq k, j = ((i + 1) \bmod (k + 1))$.

Proof. Follows from Lemma 1.5 and the result for minimum path of graphs with no negative cycles.

Now, we study the complexity of the problem in a special graph class.

Grid graphs

Definition 3 Let G^∞ be the infinite graph whose vertex set consists of all points of the plane with integer coordinates and in which two vertices are connected if and only if the Euclidean distance between them is equal 1. A Grid graph is a node-induced finite subgraph of the infinite grid. It is rectangular if its set of nodes is the product of two intervals.

Lemma 1.7 [Itai et al.(1982)Itai, Papadimitriou, e Szwarcfiter] *Hamiltonian Path problem in grid subgraphs is NP-complete.*

Corollary 1.8 (s, t) Longest Path problem in rectangular grid graphs is NP-complete.

Theorem 1.9 Prize Collecting Path problem in general grid graphs is NP-complete.

References

- Itai, A., Papadimitriou, C. H., e Szwarcfiter, J. L. (1982). Hamilton Paths in Grid Graphs. *SIAM Journal on Computing*, 11(4):676–686. ISSN 0097-5397.
- Karp, R. M. (1972). Reducibility among Combinatorial Problems. In *Complexity of Computer Computations*, p. 85–103. Springer US, Boston, MA.

Um algoritmo exato para biclique-coloração

Guilherme de C. M. Gomes, Vinicius Fernandes dos Santos

¹Departamento de Ciência da Computação – Universidade Federal de Minas Gerais

Resumo. O número biclique-cromático $\chi_B(G)$ de um grafo $G = (V, E)$ é o menor inteiro k tal que existe uma k -coloração dos vértices de G com a propriedade de que nenhuma biclique maximal de G seja monocromática. Trabalhos recentes provaram que o problema de se computar $\chi_B(G)$ para um grafo G é Σ_2^P -completo para qualquer $k \geq 2$. Nosso principal resultado neste trabalho é um algoritmo baseado em inclusão-exclusão de complexidade $O^*(2^n)$ para se computar $\chi_B(G)$ de forma exata.

1. Introdução

Problemas de coloração são alguns dos mais estudados em teoria dos grafos. Em sua versão clássica, o problema da k -coloração pergunta se existe uma atribuição de k cores aos vértices de um grafo de forma que vértices adjacentes tenham cores distintas. Ao longo dos anos, variações do problema foram propostas, sendo uma delas a k -clique-coloração, onde se procura uma atribuição de cores aos vértices do grafo tal que nenhuma clique maximal do mesmo seja monocromática. De forma similar, uma k -biclique-coloração busca uma atribuição de cores aos vértices do grafo tal que nenhuma biclique maximal seja monocromática.

Em termos de cliques, um trabalho recente [7] demonstrou que k -clique-coloração é Σ_2^P -completo, enquanto [2] propôs um algoritmo $O^*(2^n)$ para se computar de forma exata o número clique cromático $\chi_C(G)$. Já em termos de bicliques, [4] apresenta uma prova de que k -biclique-coloração também é Σ_2^P -completo para grafos gerais, além de mostrar a NP-completude do problema para diversas classes de grafos. Apesar disso, em [6] são apresentados algoritmos polinomiais para esses problemas quando o domínio é restrito aos grafos livres de unicordas.

Neste trabalho, apresentamos alguns resultados inspirados em [2] que possibilitam a construção de um algoritmo $O^*(2^n)$ para o problema da k -biclique-coloração. Nele, fazemos uso do algoritmo baseado em inclusão-exclusão proposto em [1] para o problema da cobertura exata e mostramos a equivalência entre uma solução do mesmo e uma k -biclique-coloração válida.

2. Definições e Notações

Ao longo deste trabalho, denotamos um grafo por $G = (V, E)$, com V e E seu conjunto de vértices e arestas, respectivamente, e $n = |V|$ e $m = |E|$. Para cada $X \subseteq V(G)$, dizemos que $G[X] = (X, E_X)$ é um *subgrafo induzido de G* se $E_X = \{uv \mid u, v \in X, uv \in E\}$. O *complemento* $\overline{G} = (V, \overline{E})$ de G é tal que $\overline{E} = \{uv \mid uv \notin E\}$.

Um grafo K_n é dito ser *completo* se seus vértices são dois a dois adjacentes; I_n é um *conjunto independente* se seu complemento é isomorfo a K_n . G é *bipartido* se podemos construir uma bipartição $V = (L, R)$ tal que $G[L]$ e $G[R]$ são conjuntos independentes. $K_{m,n}$ é *bipartido completo* se todo $u \in L$ é adjacente a todo $v \in R$.

Um subconjunto $X \subseteq V$ é uma *biclique* de G se $G[X]$ for isomorfo a $K_{m,n}$. X é maximal se não existe um vértice $u \in V \setminus X$ tal que $X \cup \{u\}$ é uma biclique. Denotamos por $\mathcal{B}(G)$ a família de todas as bicliques maximais de G .

Uma k -coloração de um grafo é uma função $\varphi : V \rightarrow \{1, \dots, k\}$ que atribui a cada vértice de G uma cor única. Para simplificar a notação, definimos $\varphi(V) = \bigcup_{u \in V} \{\varphi(u)\}$. Um subgrafo $G[X]$ é monocromático se $|\varphi(X)| = 1$.

Uma k -vértice-coloração é uma k -coloração onde vértices adjacentes de G apresentam cores diferentes. De maneira similar, uma k -biclique-coloração é uma k -coloração onde nenhuma biclique maximal é monocromática. Note que uma k -coloração é uma partição $P_k = (V_1, \dots, V_k)$ dos vértices de G em *classes de cores*, onde $|\varphi(V_i)| = 1$. Usando essa observação, temos que nenhuma biclique maximal de G pode estar inteiramente contida em uma classe de cor. O número biclique cromático $\chi_{\mathcal{B}}(G)$ é o menor inteiro k tal que existe uma k -biclique-coloração própria de G .

Um *hipergrafo* $\mathcal{H} = \{H_1, \dots, H_q\}$ é uma família de subconjuntos de um conjunto finito V , com cada $H_i \in \mathcal{H}$ sendo uma *hiperaresta*. Denotamos por $\mathcal{H}_{\mathcal{B}}(G)$ o hipergrafo com conjunto de hiperarestas igual à família de bicliques maximais de G .

Um subconjunto $X \subseteq V$ *atinge* uma hiperaresta $H_i \in \mathcal{H}$ se $X \cap H_i \neq \emptyset$. X é um *transversal* de \mathcal{H} se ele atinge todas suas hiperarestas. De forma análoga, um *oblíquo* de \mathcal{H} é um subconjunto de V tal que existe pelo menos uma hiperaresta não tocada por ele. Denotamos por $\mathcal{T}_{\mathcal{B}}$ a família de todos os transversais de $\mathcal{H}_{\mathcal{B}}$ e por $\mathcal{O}_{\mathcal{B}}$ a de todos os seus oblíquos. $\mathcal{T}_{\mathcal{B}}^* = \{X \mid \bar{X} \in \mathcal{T}_{\mathcal{B}}\}$ é a família dos complementos de transversais de $\mathcal{H}_{\mathcal{B}}$. Note que $X \subseteq V$ é um transversal se e somente se ele não é um oblíquo.

O problema da cobertura exata é definido como: dados um conjunto base V , uma família $\mathcal{F} \subseteq 2^V$ e um inteiro k , existe alguma k -partição de V usando elementos de \mathcal{F} ? O teorema abaixo, mostrado em [1], nos dá um algoritmo $O(2^n \text{polylog}(n))$ para a solução deste problema. Dizemos que um algoritmo é $O^*(2^n)$ se sua complexidade é da forma $O(2^n \text{polylog}(n))$.

Teorema 1 ([1]). *Existe um algoritmo $O^*(2^n)$ para o problema da cobertura exata.*

3. Computando $\chi_{\mathcal{B}}(G)$

Trabalhos recentes fazem uso do princípio de inclusão-exclusão para resolver uma série de problemas clássicos da literatura, como cobertura exata [1] e k -vértice-coloração [5], além de problemas menos estudados, como k -clique-coloração [2]. Uma abordagem natural para se construir uma solução exponencial é a transformação do problema em questão para algum outro cuja complexidade seja inferior. Neste âmbito, em [2] foi apresentado um algoritmo $O^*(2^n)$ para a k -clique-coloração transformando uma instância do mesmo para uma de cobertura exata sem prejudicar a complexidade final da solução.

Tomando como base os resultados de [2], neste artigo demonstramos como construir um algoritmo $O^*(2^n)$ para o problema da k -clique-coloração, transformando-o em uma instância de cobertura exata. De forma natural, buscaremos cobrir V e, para isso, a escolha de \mathcal{F} deve ser feita de forma a impedir que qualquer cobertura válida possa gerar uma coloração imprópria. A escolha dessa família é discutida abaixo.

Nosso primeiro resultado traduz a ideia de que, fixada uma cor i , *toda* biclique

maximal deve possuir pelo menos uma cor diferente de i .

Lema 1. $P_k = (V_1, \dots, V_k)$ é uma k -biclique-coloração de G se e somente se P_k é uma k -partição de G e, $\forall V_i \in P_k$, \overline{V}_i é um transversal de $\mathcal{H}_B(G)$.

Demonstração. (\Rightarrow) Seja P_k uma k -biclique-coloração de G e suponha que existe algum V_i tal que $\overline{V}_i \notin \mathcal{T}_B$. Isso, por sua vez, implica que existe $B \in \mathcal{B}$ tal que $B \cap \overline{V}_i = \emptyset$, ou seja $B \subseteq V_i$, donde $|\varphi(B)| = 1$, que é uma contradição, pois P_k é uma coloração própria.

(\Leftarrow) Seja P_k uma k -partição de G com $\overline{V}_i \in \mathcal{T}_B$ e suponha que P_k não é uma k -biclique-coloração. Ou seja, existe uma biclique maximal $B \in \mathcal{B}$ tal que $B \subseteq V_i$ para algum i . Isto implica que $B \cap \overline{V}_i = \emptyset$, e, portanto, $\overline{V}_i \notin \mathcal{T}_B$, o que contradiz a hipótese. \square

O Lema 1 nos dá uma família natural para se usar durante o procedimento de cobertura: a família \mathcal{T}_B^* dos complementos de transversais de \mathcal{H}_B . Computar diretamente transversais, por sua vez, é custoso, uma vez que a família de bicliques maximais pode ser da ordem de $O(n \cdot 3^{n/3})$, como demonstrado em [3]. Para enumerar \mathcal{T}_B^* , observe que $\mathcal{T}_B = 2^V \setminus \mathcal{O}_B$. Ou seja, se conseguirmos descobrir \mathcal{O}_B de forma mais eficiente, \mathcal{T}_B^* pode ser construída em tempo $O^*(2^n)$. Nosso próximo resultado garante que tal descoberta é possível.

Lema 2. Os oblíquos maximais de $\mathcal{H}_B(G)$ são exatamente os complementos das bicliques maximais de G .

Demonstração. (\Rightarrow) Seja $X \in \mathcal{O}_B$ um oblíquo maximal de $\mathcal{H}_B(G)$. Pela definição, existe alguma $B \in \mathcal{H}_B$ tal que $X \cap B = \emptyset$, o que implica que $X \subseteq \overline{B}$. Para mostrar que apenas a igualdade é válida, assumimos que $X \subset \overline{B}$. Sendo assim, existe $Y \subseteq \overline{B} \setminus X$, $Y \cap B = \emptyset$, $(X \cup Y) \cap B = \emptyset$ e $X \cup Y \in \mathcal{O}_B$. Isso por sua vez implica que X não é maximal, uma contradição.

(\Leftarrow) Seja $B \in \mathcal{H}_B(G)$ uma biclique maximal de G e $X = \overline{B}$. Por hipótese, $X \in \mathcal{O}_B$. Suponha que X não é um oblíquo maximal de $\mathcal{H}_B(G)$. Sendo assim, existe um $Y \subseteq V \setminus X$ tal que $Z = X \cup Y$ é um oblíquo maximal, pois $X \subset Z$ é oblíquo e, por hipótese, não é maximal. Então: (i) $\overline{B} \cap Y = \emptyset$; (ii) $Y \subseteq B$; (iii) $Z \cap B \neq \emptyset$ e, portanto, $Z \notin \mathcal{O}_B$, que é um absurdo. \square

Corolário 1. Dado um grafo $G = (V, E)$ e um subconjunto $X \subseteq V$, existe um algoritmo $O(n(n - |X|))$ para determinar se X é um oblíquo maximal de $\mathcal{H}_B(G)$.

Com os resultados acima, podemos testar para cada $X \in 2^V$ se seu complemento é uma biclique maximal. Após construirmos os oblíquos maximais de \mathcal{H}_B , podemos usar o lema abaixo (apresentado em [2]) para construir \mathcal{O}_B , que é exatamente a família de subconjuntos de todos os oblíquos maximais.

Lema 3 ([2]). O fecho descendente $\mathcal{F}_\downarrow = \{X \subseteq V \mid \exists Y \in \mathcal{F}, X \subseteq Y\}$ de qualquer família \mathcal{F} pode ser enumerado em $O^*(|\mathcal{F}_\downarrow|)$.

Tendo como base os resultados até então apresentados, podemos construir um algoritmo $O^*(2^n)$ para o problema da k -biclique-coloração.

Teorema 2. *Existe um algoritmo $O^*(2^n)$ para se computar $\chi_B(G)$.*

Demonstração. Usando o Lema 1, para qualquer k -biclique-coloração (V_1, \dots, V_k) válida, cada classe de cor deve ser o complemento de algum transversal do hipergrafo biclique $\mathcal{H}_B(G)$. Para enumerar \mathcal{T}_B^* , primeiramente utilizamos os Lemas 2, 3 e o Corolário 1 para computar \mathcal{O}_B em tempo $O^*(2^n)$. Em seguida, computamos $\mathcal{T}_B = 2^V \setminus \mathcal{O}_B$ verificando para cada elemento de 2^V se ele está em \mathcal{O}_B . Em seguida, complementamos cada elemento de \mathcal{T}_B , obtendo \mathcal{T}_B^* .

Agora, para encontrarmos $\chi_B(G)$, executamos para cada elemento $k \in \{1, \dots, n\}$ o algoritmo $O^*(2^n)$ para cobertura exata (Teorema 1), tendo V como conjunto base, \mathcal{T}_B^* como família a ser usada na partição e k o tamanho da mesma. O primeiro k que apresentar pelo menos uma partição válida será $\chi_B(G)$. \square

4. Conclusões e Trabalhos Futuros

Neste trabalho estendemos naturalmente os resultados referentes ao problema da k -clique-coloração para o problema da k -biclique-coloração, explorando as noções de transversais e oblíquos do hipergrafo biclique e mostrando como ambos podem ser utilizados na construção de um algoritmo $O^*(2^n)$ para se computar $\chi_B(G)$. Trabalhos futuros incluem a investigação de parametrizações deste problema que explorem as relações entre colorações, estruturas maximais e hipergrafos, além de algoritmos $O^*(\alpha^n)$ com $\alpha < 2$ para a computação do número biclique cromático de um grafo.

Referências

- [1] Björklund, A., Husfeldt, T., Koivisto, M.: Set partitioning via inclusion-exclusion. *SIAM Journal on Computing* 39(2), 546–563 (2009)
- [2] Cochefert, M., Kratsch, D.: Exact algorithms to clique-colour graphs. In: *International Conference on Current Trends in Theory and Practice of Informatics*. pp. 187–198. Springer (2014)
- [3] Gaspers, S.: *Exponential Time Algorithms*. Serge Gaspers (2010)
- [4] Groshaus, M., Soullignac, F.J., Terlisky, P.: Star and biclique coloring and choosability. *Journal of Graph Algorithms and Applications* 18(3), 347–383 (2014)
- [5] Koivisto, M.: An $o^*(2^n)$ algorithm for graph coloring and other partitioning problems via inclusion–exclusion. In: *Foundations of Computer Science, 2006. FOCS’06. 47th Annual IEEE Symposium on*. pp. 583–590. IEEE (2006)
- [6] Macêdo Filho, H., Machado, R., de Figueiredo, C.: Efficient algorithms for clique-colouring and biclique-colouring unichord-free graphs. *Algorithmica* pp. 1–29 (2016)
- [7] Marx, D.: Complexity of clique coloring and related problems. *Theoretical Computer Science* 412(29), 3487–3500 (2011)

Coloração arco-íris em grafos resultantes de produto cartesiano

Aleffer Rocha¹, Sheila Moraes Almeida¹

¹Departamento Acadêmico de Informática
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)
CEP 84.016-210 – Ponta Grossa – PR – Brasil

aleffer@alunos.utfpr.edu.br, sheilaalmeida@utfpr.edu.br

Abstract. *The rainbow connection number of a connected graph G , denoted by $rc(G)$, is the minimum number of colors needed to color the edges of G , so that every pair of vertices is connected by at least one path in which the colors of the edges are pairwise distinct. In this work we determine the rainbow connection number for the graphs $C_m \times P_n$ when m is odd and $C_m \times C_n$ when m and n have distinct parities. For the case in which n and m are odd, we prove that $rc(C_m \times C_n) \leq \frac{m+n}{2}$.*

Resumo. *O número de conexão arco-íris de um grafo conexo G , denotado por $rc(G)$, é o menor número de cores necessárias para colorir as arestas de G , de forma que entre qualquer par de vértices exista um caminho cujas cores das arestas são duas a duas distintas. Neste trabalho determinamos o número de conexão arco-íris para os grafos $C_m \times P_n$ quando m é ímpar e $C_m \times C_n$ quando m e n têm paridades distintas. Para os casos em que m e n são ímpares, provamos que $rc(C_m \times C_n) \leq \frac{m+n}{2}$.*

1. Introdução

Neste trabalho, todo grafo $G = (V(G), E(G))$ é simples, conexo e tem pelo menos uma aresta. Uma atribuição de cores para as arestas de G , geralmente dada por uma função $c : E(G) \rightarrow \mathbb{N}$, é uma *coloração arco-íris* se entre qualquer par de vértices existe um caminho cujas cores das arestas são duas a duas distintas [Chartrand et al. 2008]. Caminhos que não possuem duas ou mais arestas com a mesma cor são chamados de *caminhos multicoloridos*.

O *número de conexão arco-íris*, $rc(G)$, é menor inteiro para o qual existe uma coloração arco-íris de um grafo G . O *Problema da Coloração Arco-Íris* é determinar $rc(G)$ para um dado grafo G . Em algumas classes de grafos, o número de conexão arco-íris é trivial, por exemplo, para uma árvore T com n vértices $rc(T) = n - 1$; para um grafo completo K_n , $rc(K_n) = 1$; e para um ciclo C_n , $rc(C_n) = \lceil \frac{n}{2} \rceil$ [Chartrand et al. 2008]. Para obter uma coloração arco-íris de qualquer grafo simples e conexo G , é suficiente atribuir cores distintas para todas as arestas de uma de suas árvores geradoras, o que implica $rc(G) \leq |V(G)| - 1$. Observa-se que tal limite superior é justo. Em [Li et al. 2012], os autores provaram que se G é 2-vértice-conexo, então $rc(G) \leq \lceil \frac{|V(G)|}{2} \rceil$. Para um grafo G conexo com n vértices e grau mínimo $\delta(G)$, $rc(G) \leq \frac{3n}{\delta(G)+1} + 3$ [Chandran et al. 2012].

Em um grafo G , a *distância* entre dois vértices u e v é o tamanho do menor caminho entre u e v , dado pelo número de arestas deste caminho. A *excentricidade* $\epsilon(v)$

de um vértice $v \in V(G)$ é a maior distância entre v e qualquer outro vértice de G . O *diâmetro* de um grafo G , denotado por $diam(G)$ é a excentricidade máxima de G . Apesar de alguns resultados conhecidos e de limites superiores justos para o número de conexão arco-íris, sabe-se que quando G é um grafo com diâmetro 2, decidir se $rc(G) = 2$ é um problema NP-completo e que determinar o número de conexão arco-íris de um grafo G qualquer é um problema NP-difícil [Chakraborty et al. 2011].

Sejam G e H dois grafos simples e conexos com $V(G) = \{v_0, v_1, \dots, v_{m-1}\}$ e $V(H) = \{u_0, u_1, \dots, u_{n-1}\}$. O *produto cartesiano* $G \times H$ tem conjunto de vértices $V(G) \times V(H)$ e a aresta $(v_i, u_j)(v_k, u_l)$ existe se, e somente se, $v_i v_k \in E(G)$ e $u_j = u_l$ ou $u_j u_l \in E(H)$ e $v_i = v_k$, $0 \leq i, k < m$ e $0 \leq j, l < n$. Li, Shi e Sun [Li et al. 2013] apresentaram alguns resultados sobre o número de conexão arco-íris em grafos resultantes de produtos cartesianos, como o importante Teorema 1, a seguir.

Teorema 1. [Li et al. 2013] *Seja $G = G_1 \times G_2 \times G_3 \times \dots \times G_k$, $k \geq 2$, tal que G_i é conexo, $1 \leq i \leq k$. Então $rc(G) \leq \sum_{i=1}^k rc(G_i)$. Além disso, se $diam(G_i) = rc(G_i)$ para todo G_i , $1 \leq i \leq k$, então a igualdade vale.*

Dos resultados para árvores e ciclos [Chartrand et al. 2008] e do Teorema 1, pode-se inferir que $rc(P_m \times P_n) = m+n-2$, para dois caminhos P_m e P_n , $2 \leq m \leq n$; $rc(C_m \times C_n) = \frac{m+n}{2}$ para dois ciclos C_m e C_n , m e n pares, $3 < m \leq n$; e $rc(C_m \times P_n) = n-1 + \frac{m}{2}$ para um caminho P_n e um ciclo C_m , m par. Quando $m \neq 3$ é ímpar, $diam(C_m) < rc(C_m)$ e, portanto, o número de conexão arco-íris do produto cartesiano é um problema em aberto. A contribuição deste trabalho é a determinação de $rc(C_m \times P_n)$ quando m é ímpar e $rc(C_m \times C_n)$ quando m e n têm paridades distintas. Também provamos que $rc(C_m \times C_n) \leq \frac{m+n}{2}$ se m e n são ímpares, melhorando o limite apresentado no Teorema 1. O novo limite tem diferença de no máximo uma unidade do ótimo. As provas apresentadas implicam em algoritmos polinomiais para coloração arco-íris.

2. Resultados

Nesta seção, primeiro será apresentada a prova de que $rc(C_m \times P_n) = \lfloor \frac{m}{2} \rfloor + n - 1$ quando m é ímpar. É importante observar que os grafos $C_m \times P_n$ e $P_n \times C_m$ são isomorfos. As provas fazem uso de um conhecido resultado segundo o qual qualquer grafo conexo G tem $rc(G) \geq diam(G)$ [Chartrand et al. 2008]. Em seguida, determinamos $rc(C_m \times C_n)$ quando $m = n = 3$ e quando m e n têm paridades distintas. No caso em que m e n são ambos ímpares, sabe-se que $rc(C_m \times C_n) \geq diam(C_m \times C_n) = \frac{m+n}{2} - 1$. Neste caso, apresentamos uma coloração arco-íris com $\frac{m+n}{2}$ cores.

Teorema 2. *Se $C_m \times P_n$ tem m ímpar e $n \geq 2$, então $rc(C_m \times P_n) = \lfloor \frac{m}{2} \rfloor + n - 1$.*

Demonstração. Seja $C_m \times P_n$, tal que m é ímpar, $n \geq 2$, $V(C_m) = \{v_0, v_1, \dots, v_{m-1}\}$ e $V(P_n) = \{u_0, u_1, \dots, u_{n-1}\}$. Note que $diam(C_m \times P_n) = \lfloor \frac{m}{2} \rfloor + n - 1$. Então, como $rc(C_m \times P_n) \geq diam(C_m \times P_n)$, é suficiente apresentar uma coloração arco-íris com $\lfloor \frac{m}{2} \rfloor + n - 1$ cores.

Suponha $n = 2$. Sejam $C_j = (v_0, u_j)(v_1, u_j) \dots (v_{m-1}, u_j)(v_0, u_j)$, $j \in \{0, 1\}$, e $P_i = (v_i, u_0)(v_i, u_1)$, $0 \leq i < m$. Em cada ciclo C_j , $j \in \{0, 1\}$, pinte a aresta $(v_i, u_j)(v_{i+1}, u_j)$ com cor i , $0 \leq i \leq \lfloor \frac{m}{2} \rfloor$; pinte $(v_i, u_j)(v_{i+1}, u_j)$ com cor $i - \lfloor \frac{m}{2} \rfloor$,

$\lceil \frac{m}{2} \rceil \leq i < m - 1$; e pinte $(v_i, u_0)(v_i, u_{m-1})$ com cor $\lfloor \frac{m}{2} \rfloor - 1$. Para cada caminho P_i , se $0 \leq i \leq \lfloor \frac{m}{2} \rfloor$, pinte $(v_i, u_0)(v_i, u_1)$ com cor $\lfloor \frac{m}{2} \rfloor$; e se $\lceil \frac{m}{2} \rceil \leq i < m$, pinte $(v_i, u_0)(v_i, u_1)$ com cor $i - \lceil \frac{m}{2} \rceil$.

Vamos mostrar que existe um caminho multicolorido entre cada par de vértices (v_i, u_j) e (v_k, u_l) , $0 \leq i, k < m$ e $0 \leq j, l \leq 1$. Se $j = l$, então o caminho multicolorido é o menor caminho entre (v_i, u_j) e (v_k, u_l) no ciclo C_j . Então, suponha $j \neq l$ e, sem perda de generalidade, seja $j = 0$ e $l = 1$. Considere as operações aritméticas módulo m . Seja P' o menor caminho de (v_i, u_0) a (v_k, u_0) . Se $(v_{i-1}, u_0) \in P'$, então $(v_i, u_0)(v_i, u_1)$ concatenado ao menor caminho de (v_i, u_1) a (v_k, u_1) é um caminho multicolorido. Senão, P' concatenado a (v_k, u_1) é um caminho multicolorido.

Agora, suponha $n > 2$. Pinte as arestas dos ciclos C_j , $0 \leq j < n$, e as arestas $(v_i, u_0)(v_i, u_1)$, $0 \leq i < m$, da mesma forma que no caso $n = 2$. Seja H o subgrafo de G já colorido. Resta colorir as arestas dos caminhos $P'_i = (v_i, u_1)(v_i, u_2) \dots (v_i, u_{n-1})$, $0 \leq i < m$. Pinte a aresta $(v_i, u_j)(v_i, u_{j+1})$, $1 \leq j < n - 1$, com cor $j + \lfloor \frac{m}{2} \rfloor$. Observe que cada caminho P'_i , $0 \leq i < m$, é multicolorido e não contém cores usadas nas arestas de H . Então cada par de vértices em G tem um caminho multicolorido. De fato, qualquer par de vértices contido em $C_0 \cup C_1$ possui um caminho multicolorido já apresentado no caso $n = 2$. Considere o par de vértices (v_i, u_j) e (v_k, u_l) , tal que $i \geq 1$ e $k > 1$. Então, o menor caminho entre (v_i, u_j) e (v_k, u_j) no ciclo C_j é multicolorido, e o caminho de (v_k, u_j) a (v_k, u_l) em P'_k é multicolorido por construção. Agora, considere um caminho entre (v_i, u_0) e (v_k, u_l) , $l > 1$. O caminho de (v_i, u_0) a (v_k, u_1) , já apresentado no caso $n = 2$, concatenado ao caminho de (v_k, u_1) a (v_k, u_l) , contido em P'_k , é multicolorido. Observe que foram utilizadas $\lceil \frac{m}{2} \rceil + n - 2 = \lfloor \frac{m}{2} \rfloor + n - 1$ cores. \square

Teorema 3. *Seja $C_m \times C_n$ um grafo com m ímpar.*

$$rc(C_m \times C_n) \begin{cases} = 2, & \text{se } m = n = 3; \\ = \lfloor \frac{n}{2} \rfloor + 1, & \text{se } m = 3 \text{ e } n > 3; \\ = \frac{m-1}{2} + \frac{n}{2}, & \text{se } m, n > 3 \text{ e } n \text{ é par}; \\ \leq \frac{m+n}{2}, & \text{se } m, n > 3 \text{ e } n \text{ é ímpar}. \end{cases}$$

Demonstração. Considere $C_m \times C_n$ um grafo com m ímpar, $V(C_m) = \{v_0, v_1, \dots, v_{m-1}\}$ e $V(C_n) = \{u_0, u_1, \dots, u_{n-1}\}$. Sejam $X_j = (v_0, u_j)(v_1, u_j) \dots (v_{m-1}, u_j)(v_0, u_j)$, $0 \leq j < n$, e $Y_i = (v_i, u_0)(v_i, u_1) \dots (v_i, u_{n-1})(v_i, u_0)$, $0 \leq i < m$.

Se $m = n = 3$, pinte as arestas de cada ciclo X_j com cor 0, $0 \leq j < 3$, e pinte as arestas de cada ciclo Y_i com cor 1, $0 \leq i < m$. Por inspeção, é possível verificar que trata-se de uma coloração arco-íris. Resta considerar os casos em que pelo menos um entre m e n é maior que 3.

Se $m = 3$ e $n > 3$, pinte cada ciclo Y_i , $0 \leq i < m$, da seguinte forma. Se $0 \leq j < \lfloor \frac{n}{2} \rfloor$, pinte a aresta $(v_i, u_j)(v_i, u_{j+1})$ com cor j . Se $\lfloor \frac{n}{2} \rfloor \leq j < n - 1$, pinte $(v_i, u_j)(v_i, u_{j+1})$ com cor $j - \lfloor \frac{n}{2} \rfloor$. Pinte $(v_i, u_0)(v_i, u_{n-1})$ com cor $\lfloor \frac{n}{2} \rfloor - 1$. Pinte as arestas de cada ciclo X_j , $0 \leq j \leq \lfloor \frac{n}{2} \rfloor$, com cor $\lfloor \frac{n}{2} \rfloor$; e pinte as arestas de cada ciclo X_j , $\lfloor \frac{n}{2} \rfloor < j < n$, com cor $j - \lfloor \frac{n}{2} \rfloor$. Observe que os vértices de quaisquer dois ciclos, Y_p e Y_q , $0 \leq p, q \leq 2$, induzem um subgrafo isomorfo aos $C_n \times P_2$ e, portanto, os mesmos argumentos usados na prova do primeiro caso do Teorema 2 garantem que esta é uma coloração arco-íris.

Então, considere $m, n > 3$. Pinte cada ciclo X_j , $0 \leq j < n$, da seguinte forma. Se $0 \leq i < \lfloor \frac{m}{2} \rfloor$, pinte a aresta $(v_i, u_j)(v_{i+1}, u_j)$ com cor j . Se $\lfloor \frac{m}{2} \rfloor \leq j < m - 1$, pinte $(v_i, u_j)(v_{i+1}, u_j)$ com cor $j - \lfloor \frac{m}{2} \rfloor$. Pinte $(v_0, u_j)(v_{m-1}, u_j)$ com cor $\lfloor \frac{m}{2} \rfloor - 1$. Pinte as arestas $(v_i, u_j)(v_i, u_{j+1}) \in Y_i$, $0 \leq i < m$, da seguinte forma. Considere as somas nos índices módulo m . Se $0 \leq i \leq \lfloor \frac{m}{2} \rfloor$ e $j \equiv 0 \pmod{\lfloor \frac{n}{2} \rfloor}$, pinte a aresta $(v_i, u_j)(v_i, u_{j+1})$ com cor $\lfloor \frac{m}{2} \rfloor$. Se $\lfloor \frac{m}{2} \rfloor \leq i < m$ e $j \equiv 0 \pmod{\lfloor \frac{n}{2} \rfloor}$, pinte a aresta $(v_i, u_j)(v_i, u_{j+1})$ com cor $i - \lfloor \frac{m}{2} \rfloor$. Se $j \not\equiv 0 \pmod{\lfloor \frac{n}{2} \rfloor}$ e $1 \leq j < \lfloor \frac{n}{2} \rfloor$, pinte a aresta $(v_i, u_j)(v_i, u_{j+1})$ com cor $j + \lfloor \frac{m}{2} \rfloor$, $0 \leq i < m$. Se $j \not\equiv 0 \pmod{\lfloor \frac{n}{2} \rfloor}$ e $\lfloor \frac{n}{2} \rfloor < j < n$, pinte a aresta $(v_i, u_j)(v_i, u_{j+1})$ com cor $j + \lfloor \frac{m}{2} \rfloor - \lfloor \frac{n}{2} \rfloor$, $0 \leq i < m$.

Considere um par de vértices (v_i, u_j) e (v_k, u_l) , $0 \leq i, k < m$ e $0 \leq j, l < n$. Seja H o subgrafo induzido pelas arestas coloridas com as cores do conjunto $\{0, 1, \dots, \lfloor \frac{m}{2} \rfloor\}$. Se (v_i, u_j) e (v_k, u_l) pertencem à mesma componente conexa em H , então existe um caminho multicolorido entre esses vértices, como provado no Teorema 2. Então, suponha que (v_i, u_j) e (v_k, u_l) pertencem a componentes conexas distintas em H , O_1 e O_2 , respectivamente. Existe em O_1 um caminho multicolorido P entre (v_i, u_j) e (v_k, u_j) . Além disso, se O_1 é um subgrafo isomorfo a $C_m \times P_2$, então existe em O_1 um caminho multicolorido P' entre (v_i, u_j) e (v_k, u_t) , onde ou $t = j - 1$ ou $t = j + 1$. Como P e P' são caminhos em O_1 , ambos estão coloridos com cores do conjunto $\{0, 1, \dots, \lfloor \frac{m}{2} \rfloor\}$. Por construção, em $C_m \times C_n$, ou existe um caminho multicolorido entre (v_k, u_j) e (v_k, u_l) ou existe um caminho multicolorido entre (v_k, u_j) e (v_k, u_t) , com cores do conjunto $\{\lfloor \frac{m}{2} \rfloor, \lfloor \frac{m}{2} \rfloor + 1, \dots, \lfloor \frac{m}{2} \rfloor + \lfloor \frac{n}{2} \rfloor - 1\}$. Portanto, existe um caminho multicolorido entre (v_i, u_j) e (v_k, u_l) .

Para $m, n > 3$, foram usadas $\lfloor \frac{m}{2} \rfloor + \lfloor \frac{n}{2} \rfloor$ cores. Logo, se n é par, $\text{diam}(C_m \times C_n) = \frac{m-1}{2} + \frac{n}{2} \leq rc(C_m \times C_n) \leq \frac{m-1}{2} + \frac{n}{2}$. Portanto, $rc(C_m \times C_n) = \frac{m-1}{2} + \frac{n}{2}$. Quando n é ímpar, $\text{diam}(C_m \times C_n) = \frac{m-1}{2} + \frac{n-1}{2} \leq rc(C_m \times C_n) \leq \frac{m-1}{2} + \frac{n+1}{2} = \frac{m+n}{2}$. \square

Com os resultados dos teoremas 1, 2 e 3, fica determinado o número de conexão arco-íris para os grafos resultantes de produtos cartesianos entre dois caminhos, entre ciclos e caminhos e entre dois ciclos, com exceção dos grafos $C_m \times C_n$ com m e n ímpares, $m, n > 3$. Neste subconjunto, apresentamos um limite superior para o número de conexão arco-íris que é no máximo uma unidade maior que o ótimo.

Referências

- Chakraborty, S., Fischer, E., Matsliah, A., and Yuster, R. (2011). Hardness and algorithms for rainbow connectivity. *Journal of Combinatorial Optimization*, 21:330–347.
- Chandran, L. S., Das, A., Rajendraprasad, D., and Varma, N. M. (2012). Rainbow connection number and connected dominating sets. *Journal of Graph Theory*, 71:206–218.
- Chartrand, G., Johns, G. L., McKeon, K. A., and Zhang, P. (2008). Rainbow connection in graphs. *Mathematica Bohemica*, 133(1):85–98.
- Li, X., Liu, S., Chandran, L. S., Mathew, R., and Rajendraprasad, D. (2012). Rainbow connection number and connectivity. *Electronic Notes of Combinatorics*, 19(1). P20.
- Li, X., Shi, Y., and Sun, Y. (2013). Rainbow connections of graphs: A survey. *Graphs and Combinatorics*, 29(1):1–38.

Hitting all longest cycles in a graph

Cristina G. Fernandes¹, Juan Gutiérrez¹

¹ Departamento de Ciência da Computação
Universidade de São Paulo – São Paulo, SP – Brazil

{cris, juanguti}@ime.usp.br

Abstract. Let $\text{lct}(G)$ be the minimum size of a set of vertices that contains at least one vertex in every longest cycle of a graph G . We show that $\text{lct}(G) = 1$ if G is a 3-tree, and that $\text{lct}(G) \leq 2$ if G is a 2-connected partial 3-tree.

1. Introduction

It is known that, in every 2-connected graph, every pair of longest cycles intersect each other in at least two vertices. A natural question asks whether all longest cycles have a vertex in common in 2-connected graphs. (If the graph is not 2-connected, two longest cycles can be disjoint.) This has in general a negative answer, as the Petersen's graph shows. However, there are some graph classes for which this question has a positive answer, such as classes containing only Hamiltonian graphs [Thomas and Yu 1994, Tutte 1956], and dually chordal graphs [Jobson et al. 2016]. In this paper we show that the class of 3-trees also has a positive answer to this question. Observe that 3-trees are not dually chordal graphs, as they are not clique-Helly graphs, so they are not included in the class addressed by Jobson *et al.* [Jobson et al. 2016].

When one cannot find a vertex that is common to all longest cycles in a graph, it is interesting to look for a set of vertices such that every longest cycle has at least one vertex in that set. Such a set is called a longest cycle transversal, or just a transversal, and we look for small transversals, possibly of minimum size. The minimum size of a transversal is denoted by $\text{lct}(G)$. When we cannot determine $\text{lct}(G)$ exactly, it is interesting to search for a good upper bound for it. For every 2-connected graph G with n vertices, $\text{lct}(G) \leq \lceil n/3 \rceil$ [Thomassen 1978]. This bound was later improved to $\text{lct}(G) \leq \lceil \frac{n}{3} - \frac{n^{2/3}}{36} \rceil$ [Rautenbach and Sereni 2014]. Restating what was written at the end of the previous paragraph, here we show that $\text{lct}(G) = 1$ when G is a 3-tree. We also show that, when G is a 2-connected partial 3-tree, $\text{lct}(G) \leq 2$.

2. Preliminaries

Let C be a cycle in a graph G . Sometimes we will refer to C as the set of vertices of C . We denote by $|C|$ the length of C , that is, the number of edges in C . A triangle in G is a cycle of length three. Let S be a set of vertices of G . Given a cycle C with at least one vertex not in S , we say that S fences C if $C - S$ is contained in a single connected component of $G - S$, otherwise we say that C crosses S . For an integer t and a set S of vertices, we say that a cycle C t -touches S if C intersects S at exactly t vertices. Note that if C 1-touches S then C is fenced by S .

Lemma 1. Let G be a 2-connected graph with a triangle Δ . Let \mathcal{C} be the set of all longest cycles in G that cross Δ . At least two vertices of Δ are in all cycles of \mathcal{C} .

Let X and Y be two subsets of $V(G)$. We denote by $\text{Comp}_Y(X)$ the union of the vertex set of the connected components of $G - Y$ containing at least one vertex of $X \setminus Y$. If C is a cycle, then we may write $\text{Comp}_Y(C)$ instead of $\text{Comp}_Y(V(C))$. Also, if v is a vertex, we may write $\text{Comp}_Y(v)$ instead of $\text{Comp}_Y(\{v\})$. The next lemma is an adaptation of Lemma 6 of de Rezende *et al.* [De Rezende et al. 2013].

Lemma 2. *Let G be a 2-connected graph with a triangle Δ . If there are longest cycles C' and C'' such that $\text{Comp}_\Delta(C') \cap \text{Comp}_\Delta(C'') = \emptyset$, then one of the vertices of Δ is in all longest cycles of G .*

A 3-tree is defined recursively as follows. A graph that is a triangle is a 3-tree. Any graph obtained from a 3-tree by adding a new vertex and making it adjacent to all the vertices of an existing triangle is also a 3-tree. We say that a graph that is a triangle is a trivial 3-tree, while all the other 3-trees are nontrivial. A graph is a partial 3-tree if it is a subgraph of a 3-tree. Forbidden minors are known for partial 3-trees.

Lemma 3. [Arnborg et al. 1990] *There is no K_5 -minor in a partial 3-tree.*

3. 3-trees

Our goal is to show that all longest cycles intersect in 3-trees. Next we will generalize Lemmas 7 and 8 of de Rezende *et al.* [De Rezende et al. 2013] for 3-trees.

Lemma 4. *If K is a K_4 in a graph G , then either G contains a K_5 -minor or*

$$\cap\{\text{Comp}_\Delta(v_\Delta) : \Delta \text{ is a triangle in } K\} = \emptyset,$$

where v_Δ is the vertex of K not in Δ .

Let K be a K_4 in a connected graph G . We say that K is 4-fencing if, for each triangle Δ in K , there is a longest cycle C in G such that C is fenced by Δ , intersects Δ at most twice, and satisfies $\text{Comp}_\Delta(C) = \text{Comp}_\Delta(v_\Delta)$, where v_Δ is the vertex of K not in Δ .

Lemma 5. *If, for every triangle Δ in a nontrivial 3-tree G , there is a longest cycle fenced by Δ and intersecting Δ at most twice, then G contains a 4-fencing K_4 .*

The next lemma is basically a corollary of Lemma 2.

Lemma 6. *Let G be a 2-connected graph. If K is a 4-fencing K_4 in G and C is a longest cycle such that $\text{Comp}_K(C) \cap \text{Comp}_\Delta(v_\Delta) = \emptyset$, where Δ is a triangle in K and v_Δ is the vertex in K not in Δ , then there is a vertex in K intersecting all longest cycles in G .*

Corollary 7. *Let G be a 3-tree. Either there exists a vertex intersecting all longest cycles in G or every 4-fencing K_4 in G fences no longest cycle.*

The corollary above implies that, in a 3-tree, either there is a vertex intersecting all longest cycles or every 4-fencing K_4 intersects at least twice every longest cycle, because each such cycle crosses such K_4 . Next lemma strengthens this result.

Lemma 8. *Let G be a 3-tree. Either there exists a vertex intersecting all longest cycles in G , or no longest cycle in G 2-touches a 4-fencing K_4 in G .*

So, in a 3-tree G , either there exists a vertex intersecting all longest cycles in G , or every longest cycle intersects at least three times each 4-fencing K_4 . If G has a 4-fencing K_4 and no vertex intersects all longest cycles in G , then, for every triangle Δ in this K_4 , there must be a longest cycle 3-touching the K_4 at the vertices of Δ .

Theorem 9. *In every 3-tree G , there exists a vertex intersecting all longest cycles in G , that is, $\text{lct}(G) = 1$.*

4. Partial 3-trees

Before proving our main result, we give some basic definitions and notation.

A tree-decomposition [Diestel 2010, p. 337] of a graph G is a pair (T, \mathcal{V}) consisting of a tree T and a collection $\mathcal{V} = \{V_t : t \in V(T)\}$ of bags $V_t \subseteq V(G)$, that satisfies the following three conditions:

- (T1) $\bigcup_{t \in V(T)} V_t = V(G)$;
- (T2) for every $uv \in E(G)$, there exists a bag V_t such that $u, v \in V_t$;
- (T3) if a vertex v is in two different bags V_{t_1} and V_{t_2} , then v is also in every bag V_t such that t is on the (unique) path from t_1 to t_2 in T .

The width of (T, \mathcal{V}) is the number $\max\{|V_t| - 1 : t \in V(T)\}$, and the tree-width $\text{tw}(G)$ of G is the minimum width of any tree-decomposition of G .

It is known that partial 3-trees are exactly the graphs with tree-width three [Brandstädt et al. 1999]. Sometimes we are interested in particular tree-decompositions. The following proposition is a lemma of Bodlaender.

Proposition 10. [Bodlaender 1998] *If k is the tree-width of a graph G , then G has a tree-decomposition (T, \mathcal{V}) of width k such that $|V_t| = k + 1$ for every $t \in V(T)$, and $|V_t \cap V_{t'}| = k$ for every $tt' \in E(T)$.*

Given a node t of T , we say that the connected components of $T - t$ are the branches of T at t [Heinz 2013]. For a node $t' \in V(T - t)$, we denote by $\text{Branch}_t(t')$ the branch of T at t where t' lies. Similarly, for a vertex $v \in V(G)$, we denote by $\text{Branch}_t(v)$ the branch $\text{Branch}_t(q)$ of T at t where q is a node of T such that $v \in V_q$.

Lemma 11. *Let G be a 2-connected partial 3-tree. Let (T, \mathcal{V}) be a tree-decomposition of G as described in Proposition 10, and let t be a node of T . If $\text{lct}(G) > 2$, then there exists a longest cycle in G that touches V_t at most once.*

Theorem 12. *For every 2-connected partial 3-tree G , $\text{lct}(G) \leq 2$.*

Proof. Let (T, \mathcal{V}) be a tree-decomposition of G as described in Proposition 10. Assume by contradiction that $\text{lct}(G) > 2$. By Lemma 11, for every node $t \in V(T)$, there exists a longest cycle that touches V_t at most once. We create an auxiliary digraph D , that admits anti parallel arcs, as follows. The nodes of D are exactly the nodes of T . Given a node $t \in V(T)$, we add the arc tt' in D if there is a longest cycle C fenced by V_t such that $\text{Branch}_t(t') = \text{Branch}_t(C)$. Then, every node of D is the tail of some arc in D .

Let tt' be the last arc of a maximal directed path in D . As T is a tree, tt' is also an arc, which implies that there exist two longest cycles C_t and $C_{t'}$ such that $\text{Branch}_t(C_t) = \text{Branch}_t(t')$ and $\text{Branch}_{t'}(C_{t'}) = \text{Branch}_{t'}(t)$, where C_t touches V_t at most once, and $C_{t'}$ touches $V_{t'}$ at most once. Note that the bags where the vertices of C_t lie are only in $\text{Branch}_t(t') \cup \{t\}$, and that the bags where the vertices of $C_{t'}$ lie are only in $\text{Branch}_{t'}(t) \cup \{t'\}$. As $\text{Branch}_t(t')$ and $\text{Branch}_{t'}(t)$ are disjoint, $C_t \cap C_{t'} \subseteq V_t \cup V_{t'}$. Note that C_t does not contain the only vertex in $V_t \setminus V_{t'}$, and that $C_{t'}$ does not contain the only vertex in $V_{t'} \setminus V_t$. But then C_t and $C_{t'}$ intersect each other in just one vertex, a contradiction to the fact that G is 2-connected. \square

5. Final remarks

Similar proofs can lead to more general results. Namely, that $\text{lct}(G) \leq \omega(G) - 3$ for every 2-connected chordal graph, where $\omega(G)$ is the size of a maximum clique of G , and that $\text{lct}(G) \leq k - 1$ for every 2-connected graph of tree-width k . This would imply that $\text{lct}(G) = 1$ for 2-connected partial 2-trees and for 2-connected planar graphs that are also chordal.

Similar but weaker results can be obtained when considering paths instead of cycles. One difficulty that arises is that paths can have their ends in different connected components. That is, given a longest path P with ends x and y , and a triangle Δ , we can have that $\text{Comp}_\Delta(x) \neq \text{Comp}_\Delta(y)$. This generates more possibilities, and for this reason the results are not as strong as for cycles.

References

- Arnborg, S., Proskurowski, A., and Corneil, D. (1990). Forbidden minors characterization of partial 3-trees. Discrete Mathematics, 80(1):1–19.
- Bodlaender, H. (1998). A partial k -arboretum of graphs with bounded treewidth. Theoretical Computer Science, 209(1):1–45.
- Brandstädt, A., Le, V., and Spinrad, J. (1999). Graph Classes: A Survey. Society for Industrial and Applied Mathematics, Philadelphia, PA, USA.
- De Rezende, S., Fernandes, C., Martin, D., and Wakabayashi, Y. (2013). Intersecting longest paths. Discrete Mathematics, 313:1401–1408.
- Diestel, R. (2010). Graph Theory, volume 173 of Graduate texts in mathematics. Springer, 4th edition.
- Heinz, M. (2013). Tree-decomposition: Graph minor theory and algorithmic implications. Master’s thesis, Technischen Universität Wien.
- Jobson, A., Kézdy, A., Lehel, J., and White, S. (2016). Detour trees. Discrete Applied Mathematics, 206:73–80.
- Rautenbach, D. and Sereni, J.-S. (2014). Transversals of longest paths and cycles. SIAM Journal of Discrete Mathematics, 28(1):335–341.
- Thomas, R. and Yu, X. (1994). 4-Connected projective-planar graphs are Hamiltonian. Journal of Combinatorial Theory, Series B, 62(1):114–132.
- Thomassen, C. (1978). Hypohamiltonian graphs and digraphs. In Alavi, Y. and Lick, D. R., editors, Proceedings of the International Conference of the Theory and Applications of Graphs (1976), volume 642 of Lecture Notes in Mathematics, pages 557–571. Springer.
- Tutte, W. (1956). A theorem on planar graphs. Transactions of the American Mathematical Society, 82:99–116.

Uma generalização dos Códigos Hamming

N. Pedroza¹, P. E. D. Pinto², J. L. Szwarcfiter^{1,2}

¹PESC – Universidade Federal do Rio de Janeiro – RJ – Brasil

²IME/DICC – Universidade do Estado do Rio de Janeiro – RJ – Brasil

nataliaps@cos.ufrj.br, pauloedp@ime.uerj.br, jayme@nce.ufrj.br

Abstract. *We present a recursive construction of optimal linear codes of length $n \geq 3$ and Hamming distance 3, as well as the coding and decoding processes with efficient performance. In particular, when n has the form $2^r - 1$ we have exactly the binary Hamming codes.*

Resumo. *Apresentamos uma construção recursiva de códigos lineares ótimos de comprimento $n \geq 3$ e distância Hamming 3, bem como os processos de codificação e decodificação com desempenho eficiente. Em particular, para n da forma $2^r - 1$ temos exatamente os códigos Hamming binários.*

1. Introdução

Um código com distância Hamming d é capaz de corrigir $\lfloor \frac{d-1}{2} \rfloor$ erros, [Hamming 1950]. A distância Hamming d de um código linear C é o tamanho do menor conjunto linearmente dependente de colunas de sua matriz de paridade H , [Hartnett 2012]. Para um dado comprimento n e uma distância Hamming 3, o número máximo de palavras de um código é dado por $B(n, 3) = 2^{n-r}$, onde r é o único inteiro que satisfaz $2^{r-1} - 1 < n \leq 2^r - 1$, [MacWilliams and Sloane 1977], de onde podemos concluir que $r = \lceil \log_2(n+1) \rceil$. Um código com o máximo de palavras possíveis é denominado código *ótimo*.

A seguir, caracterizaremos uma família de códigos lineares binários ótimos, para $d = 3$, denominada $Gham(n)$, onde n indica o comprimento da palavra do código.

2. Construção do código $Gham(n)$

Vamos construir um código de n bits, com $r_n = \lceil \log_2(n+1) \rceil$ bits de paridade e dimensão $k_n = n - \lceil \log_2(n+1) \rceil$, de maneira recursiva, a partir do código $Gham(3) = \{000, 111\}$. Observe que, para este código base, temos $n = 3, r_3 = 2, k_3 = 1$ e $d = 3$. Uma matriz geradora do mesmo é a matriz $G_{1 \times 3} = [111]$.

Dado o código $Gham(n-1) = \{c_1^{n-1}, c_2^{n-1}, \dots, c_M^{n-1}\}$ de tamanho $n-1$ com $M = 2^{k_n}$ palavras e distância Hamming 3, criamos o código $Gham(n) = \{c_1^n, c_2^n, \dots, c_M^n\}$ da seguinte forma:

1. Se $n \neq 2^m$, para $m \in \mathbb{N}$, então as palavras de $Gham(n)$ são dadas por:

$$c_i^n = \begin{cases} 0 || c_i^{n-1}, & \text{para } 1 \leq i \leq M \\ 1 || [c_i^{n-1} \oplus bin(n, n-1)], & \text{para } M+1 \leq i \leq 2M, \end{cases}$$

onde $bin(n, n-1)$ denota a representação binária do inteiro n utilizando $n-1$ bits e $a || c_i$ representa a concatenação do bit a com a palavra c_i .

Neste caso, os parâmetros r_n e k_n são dados por: $r_n = r_{n-1}$ e $k_n = k_{n-1} + 1$.

2. Se $n = 2^m$, para $m \in \mathbb{N}$, então as palavras de $Gham(n)$ são dadas por:

$$c_i^n = c_{i_1}^{n-1} \cdots c_{i_k}^{n-1} || 0 || c_{i_{k+1}}^{n-1} \cdots c_{i_{n-1}}^{n-1}, \text{ para } 1 \leq i \leq M,$$

onde $c_{i_j}^{n-1}$ representa o bit j da palavra c_i^{n-1} .

Observe que, neste caso, tomamos o código $Gham(n - 1)$ e acrescentamos 0 na posição $k + 1$. Observe também que a segunda metade das palavras ainda pode ser escrita como $1 || [c_i^{n-1} \oplus bin(n, n - 1)]$, para $\frac{M}{2} \leq i \leq M$.

Neste caso, os parâmetros r_n e k_n são dados por: $r_n = r_{n-1} + 1$ e $k_n = k_{n-1}$.

Na Tabela 1 mostramos os códigos para n de 3 a 6. Os códigos para n de 5 e 6 correspondem à primeira forma de criação recursiva, com 3 bits de paridade para todos. O código para $n = 4$ corresponde à segunda forma.

Table 1. $Gham(n)$ para n de 3 a 6

n = 3		n = 4		n = 5		n = 6	
000	111	0000	1011	00000	10101	000000	100110
				01011	11110	001011	101101
						010101	110011
						011110	111000

3. Propriedades dos códigos $Gham(n)$

Para uma dada uma palavra c_i^n , denotaremos por u_i^k o string formado pelos primeiros $k = k_n$ bits de c_i^n e, por $p(u_i^k)$ o string formado pelos $r = r_n$ bits finais.

Propriedade 1 O código $Gham(n)$ é ordenado e os strings u_i^k correspondem à representação binária, usando k bits, de todos os inteiros do intervalo 0 a $2^k - 1$.

Propriedade 2 Os códigos $Gham(n)$ são códigos lineares, cujas matrizes geradoras podem ser escritas na forma $G = [I_k | A_{k \times n-k}]$, onde I_k representa a matriz identidade de ordem $k = n - \lceil \log_2(n + 1) \rceil$ e as linhas de $A_{k \times n-k}$ são formadas pelas representações binárias dos números de 3 a n que não são potências de 2, em ordem decrescente, usando $r = \lceil \log_2(n + 1) \rceil$ bits.

Prova: Vamos fazer a prova por Indução Matemática. Temos dois casos base, que são $n = 3$ e $n = 4$. É fácil ver que $Gham(3)$ é gerado por $G_3 = [111]$, $k = 3 - \lceil \log_2(3 + 1) \rceil = 1$ e a única linha de A é o número 3 representado em $3 - 1 = 2$ bits. Já para $Gham(4)$ temos a matriz $G_4 = [1011]$, com $k = 4 - \lceil \log_2(4 + 1) \rceil = 1$ e a única linha de A é o número 3 representado em $4 - 1 = 3$ bits.

Para o restante da prova consideraremos dois casos conforme n seja potência de 2 ou não. Lembre que todos os vetores u_i^{k+1} de F^{k+1} são da forma $0u_j^k$ ou $1u_j^k$, para $u_j^k \in F^k$. Suponha que $G_n = [I_{k \times k} | A_{k \times n-k}]$ é uma matriz geradora do código $Gham(n)$. Isto é, as palavras de $Gham(n)$ são formadas fazendo-se $c_n = u_i^k \cdot G_n$, para todo $u_i \in F^k$.

1. Se $n + 1 \neq 2^m$, para $m \in \mathbb{N}$, então,

Temos que a matriz G_{n+1} é da forma:

$$G_{n+1} = \left[\begin{array}{c|c} 1 & \text{bin}(n+1, n) \\ \hline 0 & \\ \vdots & \\ 0 & G_n \end{array} \right].$$

onde cada bit de $\text{bin}(n+1, n)$ é escrito em uma das n colunas de G_{n+1} ordenadamente.

- (a) se $u_i^{k+1} = 0||u_i^k$, então temos que $(0||u_i^k) \cdot G_{n+1} = 0||c_i^n$, pois ao multiplicarmos $0||u_i^k$ pela primeira coluna de G_{n+1} , geramos o primeiro bit 0 no resultado final; e como o primeiro bit de $0||u_i^k$ é 0, multiplicar $0||u_i^k$ pelas n últimas colunas de G_{n+1} é o mesmo que fazer $u_i^k \cdot G_n = c_i^n$.
- (b) se $u_i^{k+1} = 1||u_i^k$, então $(1||u_i^k) \cdot G_{n+1} = 1|[c_i^n \oplus \text{bin}(n+1, n)]$, pois ao multiplicarmos $1||u_i^k$ pela primeira coluna de G_{n+1} , geramos o primeiro bit 1 no resultado final; e como o primeiro bit de $1||u_i^k$ é 1, multiplicar $1||u_i^k$ pelas n últimas colunas de G_{n+1} é o mesmo que fazer $u_i^k \cdot G_n = c_i^n$ e somar em cada posição, os bits da primeira linha, ou seja, fazer $c_i^n \oplus \text{bin}(n+1, n)$.

Assim, todas as palavras de $Gham(n+1)$ são geradas.

2. Se $n+1 = 2^m$, para $m \in \mathbb{N}$, então,

Neste caso, a matriz geradora G_{n+1} possui uma coluna nula na posição $k+1$.

$$G_{n+1} = \left[\begin{array}{c|c|c} I_k & 0 & \\ \hline & \vdots & A_{k \times n-k} \\ \hline & 0 & \end{array} \right].$$

Os vetores de informação pertencem a F^k . Logo, temos que $u_i^k \cdot G_{n+1} = c_{i_1}^n \cdots c_{i_k}^n 0 c_{i_{k+1}}^n \cdots c_{i_n}^n = c_i^{n+1}$, neste caso é acrescentado um bit 0 na posição $k+1$ em todas as palavras c_i^n . Isto é, todas as palavras de $Gham(n+1)$ são geradas. \square

Na Tabela 2 apresentamos a parte não trivial das matrizes geradoras dos códigos $Gham(n)$ para n de 3 a 9.

Table 2. $A_{k \times n-k}$ dos códigos $Gham(n)$

n	3	4	5	6	7	8	9
	11	011	101	110	111	0111	1001
			011	101	110	0110	0111
$A_{k \times n-k}$				011	101	0101	0110
					011	0011	0101
							0011

Temos então que a matriz de paridade H do código $Gham(n)$ é formada pelas representações binárias dos números de 1 a n escritos em coluna utilizando $n-k$ bits. E portanto, os códigos de Hamming $Ham(r)$ são um caso particular dos códigos $Gham(n)$.

4. Codificação e Decodificação

Seja uma palavra c_i^n , com $0 \leq i \leq 2^k - 1$, do código $Gham(n)$. Note que pelo processo de construção dos códigos $Gham(n)$ se uma palavra começa com bit 1, então ela foi gerada fazendo-se um ou exclusivo com $bin(n, n - 1)$. Assim, tomando $u_i^k = u_{i_k} u_{i_{k-1}} \cdots u_{i_1}$, para calcular $p(u_i^k)$, fazemos a operação de ou exclusivo de $bin(0, r)$ com $A(j)$ para todo j tal que $u_{i_j} = 1$ com $1 \leq j \leq k$, onde $A(j)$ representa o j -ésimo número que não é potência de 2. O processo de decodificação é dado pelo teorema a seguir.

Teorema 3 *Considere que um vetor y de tamanho n é recebido. Vamos denotar os $k = n - \lceil \log_2(n+1) \rceil$ bits iniciais de y por u e os r finais por $p'(u)$. O processo de decodificação consiste em calcular $p(u)$ e fazer a operação $p(u) \oplus p'(u)$. Temos que:*

1. $p(u) \oplus p'(u) = \mathbf{0}$ se, e somente se, não ocorreu erro em y ;
2. $p(u) \oplus p'(u)$ tem apenas um bit 1, digamos na posição l se, e somente se, ocorreu um erro na posição l de $p'(u)$;
3. $p(u) \oplus p'(u)$ é o l -ésimo número em binário que não é potência de 2, com $1 \leq l \leq k$ se, e somente se, ocorreu um erro na posição l (da direita para a esquerda) de u ;
4. Se $p(u) \oplus p'(u)$ não satisfaz a nenhuma condição anterior, então ocorreu mais de um erro e y não é decodificado.

Prova:

1. $p(u) \oplus p'(u) = \mathbf{0} \Leftrightarrow p(u) = p'(u) \Leftrightarrow y = u || p(u) \in Gham(n)$. Note que, para todo $u \in F^k$, o vetor $u || p(u)$ de tamanho n é uma palavra do código $Gham(n)$.
2. Se $p(u) \oplus p'(u)$ tem apenas um bit 1, na posição l , então $d(y, u || p(u)) = 1$. O fato de um código C ter distância Hamming 3, garante que um vetor qualquer de F^k tem distância 1 para, no máximo, uma palavra de C . Neste caso, y é decodificado como $u || p(u)$, isto é, ocorreu um erro na posição l de $p'(u)$. A volta é imediata. Nos casos restante, temos que $w(p(u) \oplus p'(u)) > 1$.
3. Vamos mostrar que o erro ocorreu na posição l do vetor u . Para isto, considere o vetor u' obtido a partir de u trocando-se apenas o bit na posição l , para algum $1 \leq l \leq k$. Temos que $p(u') = p(u) \oplus A[l]$ ou podemos escrever $p(u) \oplus p(u') = A[l]$. Se $p(u) \oplus p'(u) = A[l]$, então $p(u') = p'(u)$. Portanto, $d(y, u' || p(u')) = 1$. E o vetor y é decodificado como $u' || p(u')$, tendo ocorrido um erro na posição l de u . Reciprocamente, se ocorreu um erro na posição l de u , então $p(u) = p(u') \oplus A[l]$. Como não ocorreu erro na parte de paridade, temos que $p(u') = p'(u)$. Logo, $p(u) \oplus p'(u) = A[l]$.
4. Se $p(u) \oplus p'(u)$ não satisfaz nenhuma das condições anteriores, considerando as demonstrações dos 3 itens, podemos concluir que houve mais de 1 erro o que impossibilita a correção.

□

Referências

- Hamming, R. W. (1950). Error detecting and error correcting codes. *Bell System technical journal*, 29(2):147–160.
- Hartnett, W. E. (2012). *Foundations of coding theory*, volume 1. Springer Science & Business Media.
- MacWilliams, F. J. and Sloane, N. J. A. (1977). *The theory of error correcting codes*. Elsevier.

The 1,2,3-Conjecture for powers of paths and powers of cycles

Atílio G. Luiz¹, C. N. Campos¹

¹Instituto de Computação – Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)
Campinas – São Paulo – Brasil

gomes.atilio@gmail.com, campos@ic.unicamp.br

Abstract. A labelling of a graph G is a mapping $\pi: S \rightarrow \mathcal{L}$, where $\mathcal{L} \subset \mathbb{R}$ and $S = E(G)$ or $S = V(G) \cup E(G)$. If $S = E(G)$, π is an \mathcal{L} -edge-labelling and, if $S = V(G) \cup E(G)$, π is an \mathcal{L} -total-labelling. For each $v \in V(G)$, the colour of v under π is defined as $c_\pi(v) = \sum_{uv \in E(G)} \pi(uv)$ if π is an \mathcal{L} -edge-labelling; and $c_\pi(v) = \pi(v) + \sum_{uv \in E(G)} \pi(uv)$ if π is an \mathcal{L} -total-labelling. The pair (π, c_π) is a neighbour-distinguishing- \mathcal{L} -edge (total)-labelling if $\pi: S \rightarrow \mathcal{L}$ is an edge (total)-labelling and $c_\pi(u) \neq c_\pi(v)$, for every edge $uv \in E(G)$. The 1,2,3-Conjecture states that every simple graph with no isolated edge has a neighbour-distinguishing- \mathcal{L} -edge-labelling with $\mathcal{L} = \{1, 2, 3\}$. In this work, we verify the 1,2,3-Conjecture for powers of paths and powers of cycles and we also show that powers of cycles have a neighbour-distinguishing- $\{a, b\}$ -total-labelling, $a, b \in \mathbb{R}$, $a \neq b$.

1. Introduction

Let G be a simple graph with vertex set $V(G)$ and edge set $E(G)$. We denote an edge $e \in E(G)$ by uv where u and v are its endpoints. An *element* of G is a vertex or an edge of G . As usual, the degree of a vertex $v \in V(G)$ is denoted by $d_G(v)$. We say that G is k -regular if all of its vertices have degree k .

For $S = E(G)$ or $S = V(G) \cup E(G)$ and a set $\mathcal{L} \subset \mathbb{R}$, a *labelling* of G is a mapping $\pi: S \rightarrow \mathcal{L}$. If $S = E(G)$, π is an \mathcal{L} -edge-labelling and, if $S = V(G) \cup E(G)$, π is an \mathcal{L} -total-labelling. Given a labelling π of G , we define $c_\pi: V(G) \rightarrow \mathcal{C}$, \mathcal{C} a set of *colours*, such that, for each $v \in V(G)$, $c_\pi(v) = \sum_{uv \in E(G)} \pi(uv)$, if π is an \mathcal{L} -edge-labelling, and $c_\pi(v) = \pi(v) + \sum_{uv \in E(G)} \pi(uv)$, if π is an \mathcal{L} -total-labelling. The mapping c_π is a *proper-vertex-colouring* of G if $c_\pi(u) \neq c_\pi(v)$, for every edge $uv \in E(G)$. We say that the pair (π, c_π) is a *neighbour-distinguishing- \mathcal{L} -edge-labelling* when π is an \mathcal{L} -edge-labelling and c_π is a proper-vertex-colouring. Similarly, taking π an \mathcal{L} -total-labelling in the previous definition, we say that (π, c_π) is a *neighbour-distinguishing- \mathcal{L} -total-labelling*. In this work, $[k]$ denotes the set of consecutive integers $\{1, \dots, k\}$.

In 2004, Karónski et al. [4] proposed the problem of determining the least positive integer k needed to obtain a neighbour-distinguishing- $[k]$ -edge-labelling of an arbitrary simple graph G without isolated edges. This problem has attracted attention and the least value of k known is due to Kalkowski et al. [3], who proved that every graph with no isolated edge has a neighbour-distinguishing- $[5]$ -edge-labelling. In their work, Karónski et al. observed that all the families of graphs they studied have a neighbour-distinguishing- $[3]$ -edge-labelling. Based on this, they posed the following conjecture.

Conjecture 1 (Karónski et al. [4]). *If G is a simple graph with no isolated edge, then G has a neighbour-distinguishing- $[3]$ -edge-labelling.*

Conjecture 1 is known as the *1,2,3-Conjecture*. Karónski et al. also observed that almost all graphs they investigated had a neighbour-distinguishing-[2]-edge-labelling. Later, Dudek and Wajc [1] proved that deciding whether a graph has a neighbour-distinguishing-[2]-edge-labelling is \mathcal{NP} -complete. Since then, neighbour-distinguishing-[2]-edge-labellings have been investigated for families of graphs. Recently, Thomassen et al. [9] completely characterized the bipartite graphs that have a neighbour-distinguishing-[2]-edge-labelling and, using results from nowhere-zero-3-flows [8], proved that every nonbipartite $(6p - 7)$ -edge-connected graph of chromatic number at most p (where p is any odd natural number ≥ 3) has a neighbour-distinguishing-[2]-edge-labelling.

Motivated by the neighbour-distinguishing-edge-labelling problem, Przybyło and Woźniak [7] introduced the related problem of neighbour-distinguishing-total-labellings and studied it for some classes of graphs. They also posed the *1,2-Conjecture* that states that every simple graph has a neighbour-distinguishing-[2]-total-labelling. Hulgan et al. [2] generalised this problem considering $\mathcal{L} = \{a, b\}$, $a, b \in \mathbb{R}$, $a \neq b$, approaching it for families of graphs.

In this work, we verify the 1,2,3-Conjecture for powers of cycles and powers of paths. Moreover, we show that every power of cycles has a neighbour-distinguishing- $\{a, b\}$ -total-labelling, for $a, b \in \mathbb{R}$, $a \neq b$.

2. Preliminaries

Given a simple graph G and two distinct vertices $u, v \in V(G)$, the *distance* between u and v in G is the number of edges in a shortest path connecting u and v , and is denoted by $d_G(u, v)$. The *k-th power* G^k of a graph G is the simple graph that has vertex set $V(G^k) = V(G)$, with distinct vertices u, v being adjacent in G^k if and only if $d_G(u, v) \leq k$.

As usual, a path with n vertices is denoted by P_n and a cycle with n vertices is denoted by C_n . When $G \cong P_n$, graph G^k is called *power of paths* and is denoted by P_n^k . Similarly, when $G \cong C_n$, graph G^k is called *power of cycles* and is denoted by C_n^k . Note that $P_n^k \cong K_n$, when $k \geq n - 1$, and $C_n^k \cong K_n$, when $k \geq \lfloor n/2 \rfloor$. Since the 1,2,3-Conjecture has been verified for paths, cycles and complete graphs [4], in this work we consider only powers of paths P_n^k with $1 < k < n - 1$ and powers of cycles C_n^k with $1 < k < \lfloor n/2 \rfloor$. The next results, related to neighbour-distinguishing labellings of graphs, are used in the proofs of Section 3.

Proposition 2. *Let (π, c_π) be a neighbour-distinguishing-[k]-total-labelling of a graph G . If $\pi(v) = p$, for every $v \in V(G)$, then $(\pi', c_{\pi'})$ such that $\pi'(uv) = \pi(uv)$, for every $uv \in E(G)$, is a neighbour-distinguishing-[k]-edge-labelling. \square*

Lemma 3 (Przybyło and Woźniak [7]). *If $G \cong K_n$, then G has a neighbour-distinguishing-[2]-total-labelling (π, c_π) , called canonical labelling, such that, either $\mathcal{C} = \{n, \dots, 2n - 1\}$ or $\mathcal{C} = \{n + 1, \dots, 2n\}$. Moreover, if either $n = 3$ and $\mathcal{C} = \{4, 5, 6\}$ or $n \geq 4$, then π has at least two vertices with label 2. \square*

Lemma 4. *Let $G \cong K_n$ with $n \geq 3$. Let $(\pi', c_{\pi'})$ be a canonical labelling, with $\mathcal{C} = \{4, 5, 6\}$ for $n = 3$. Then, $(\pi', c_{\pi'})$ can be modified so as to obtain a neighbour-distinguishing-[3]-total-labelling (π, c_π) such that: (i) for every $v \in V(G)$, $\pi(v) = 1$; and (ii) if $c_{\pi'}(v) = \max_{u \in V(G)} \{c_{\pi'}(u)\}$, then $c_\pi(v) \in \{c_{\pi'}(v), c_{\pi'}(v) + 1\}$; otherwise, $c_\pi(v) = c_{\pi'}(v)$.*

Proof. Let G and $(\pi', c_{\pi'})$ as stated in the hypothesis. Let $S = \{v \in V(G) : \pi'(v) = 2\}$. Let M be a maximum matching of $G[S]$. Adjust notation so that, if $|S| \equiv 1 \pmod{2}$, the unsaturated vertex $u \in S$ has $c_{\pi'}(u) = \min_{v \in S} \{c_{\pi'}(v)\}$. First, define $\pi(v) = 1$, if $v \in S$, and $\pi(v) = \pi'(v)$, otherwise. If $e \in M$, $\pi(e) = \pi'(e) + 1$, otherwise $\pi(e) = \pi'(e)$. Note that every vertex $v \in S$ has its label decreased by one and, if $|S| \equiv 0 \pmod{2}$, v has the label of exactly one of its incident edges increased by one. Therefore, $c_{\pi}(v) = c_{\pi'}(v)$. If $|S| \equiv 1 \pmod{2}$, let $w \in S$ such that $c_{\pi'}(w) = \max_{v \in V(G)} \{c_{\pi'}(v)\}$. Define $\pi(uw) = \pi'(uw) + 1$. This implies that $c_{\pi}(u) = c_{\pi'}(u)$ and $c_{\pi}(w) = c_{\pi'}(w) + 1$. Since $c_{\pi'}(w) = \max_{v \in V(G)} \{c_{\pi'}(v)\}$, we conclude that c_{π} is a proper-vertex-colouring of G . Moreover, $\pi : V(G) \cup E(G) \rightarrow \{1, 2, 3\}$ and the result follows. \square

Theorem 5 (Luiz et al. [5, 6]). *If $G \cong P_n^k$ or $G \cong C_n^k$, then G has a neighbour-distinguishing-[2]-total-labelling.* \square

3. Results

In this section, we state our main results.

Theorem 6. *If G is a simple graph such that $G \cong P_n^k$ or $G \cong C_n^k$, then G has a neighbour-distinguishing-[3]-edge-labelling.*

Outline of the proof. Let $G \cong P_n^k$ or $G \cong C_n^k$. We assume G is not a path, a cycle, or a complete graph, since the result is known for these cases. If $G \cong P_n^k$, with $n \geq 2k + 2$, or $G \cong C_n^k$, we write $n = \alpha(k + 1) + r$ such that $0 \leq r \leq k$, $\alpha \geq 2$, and $r, \alpha \in \mathbb{N}$. In these cases, we take a partition $\mathcal{P} = \{B^0, \dots, B^\alpha\}$ of $V(G)$ into blocks B^i such that each block induces a complete graph. Note that \mathcal{P} comprises α blocks with $k + 1$ vertices and one block with r vertices. Now, if $G \cong P_n^k$ with $k + 1 < n < 2k + 2$, we take a partition $\mathcal{P} = \{B^0, B^1, B^2\}$ of $V(G)$ such that $|B^0| = |B^2| = \lfloor (n - k)/2 \rfloor$ and $k \leq |B^1| \leq k + 1$.

We consider seven cases: (i) $G \cong P_n^k$ and $n \geq 2k + 2$; (ii) $G \cong P_n^k$ and $k + 1 < n < 2k + 2$; (iii) $G \cong C_n^k$, $k \geq 3$ and $r \neq 1$; (iv) $G \cong C_n^k$, $k \geq 3$ and $r = 1$; (v) $G \cong C_n^k$, $k = 2$ and $r = 0$; (vi) $G \cong C_n^k$, $k = 2$ and $r = 1$; and (vii) $G \cong C_n^k$, $k = r = 2$.

In order to prove the result, by Proposition 2, it suffices to show that G has a neighbour-distinguishing-[3]-total-labelling (π, c_{π}) such that $\pi(v) = 1$ for every $v \in V(G)$. Such a labelling (π, c_{π}) is obtained by modifying the neighbour-distinguishing-[2]-total-labelling $(\pi', c_{\pi'})$ of G constructed in the proof of Theorem 5, using the technique presented in the proof of Lemma 4: for each vertex $v \in V(G)$, with $\pi'(v) = 2$, we assign $\pi(v) = 1$ and increase the labels of some selected edges by one, maintaining the property that any two adjacent vertices have distinct colours.

In this extended abstract, we exemplify this construction for case (i), for which $G \cong P_n^k$ and $n \geq 2k + 2$. Let (v_0, \dots, v_{n-1}) be a linear order of $V(P_n)$. Thus, for $0 \leq i \leq \alpha - 2$, block B^i comprises the $k + 1$ consecutive vertices, starting from $v_{i(k+1)}$ and following the linear order. Block $B^{\alpha-1}$ comprises the set of r consecutive vertices starting from $v_{(\alpha-1)(k+1)}$, and the remaining $k + 1$ vertices comprise block B^α . Note that, if $r = 0$, then $B^{\alpha-1} = \emptyset$. Considering this partition \mathcal{P} of $V(G)$, $(\pi', c_{\pi'})$ is defined as follows: (i) every element in $G[B^0]$ receives label 2; (ii) every element in $G[B^\alpha]$ receives label 1; (iii) for $1 \leq i \leq \alpha - 1$, $G[B^i]$ receives a canonical labelling with colour set $\mathcal{C} = \{|B^i| + 1, \dots, 2|B^i|\}$, such that any two vertices $v_k, v_l \in B^i$ have $c_{\pi'}(v_k) < c_{\pi'}(v_l)$ if and only if $k < l$; and (iv) the remaining edges receive label 1.

By the definition of $(\pi', c_{\pi'})$, block B^α has no vertices with label 2. Moreover, by Lemma 3, for $0 \leq i \leq \alpha - 2$, the complete subgraph $G[B^i]$ has at least two vertices with label 2. Thus, we modify $(\pi', c_{\pi'})$ so as to obtain (π, c_π) as follows. For $0 \leq i \leq \alpha - 2$, we apply Lemma 4 to $G[B^i]$ obtaining: (i) for every $v \in V(B^i)$, $\pi(v) = 1$; and (ii) if $c_{\pi'}(v) = \max_{v \in B^i} \{c_{\pi'}(v)\}$, then $c_\pi(v) \in \{c_{\pi'}(v), c_{\pi'}(v) + 1\}$; otherwise, $c_\pi(v) = c_{\pi'}(v)$. In order to conclude (π, c_π) , it remains to analyse block $B^{\alpha-1}$. If the number of vertices with label 2 in $B^{\alpha-1}$ is even, apply Lemma 4 to $G[B^{\alpha-1}]$. Otherwise, (i) choose any $w \in B^{\alpha-1}$ with $\pi'(w) = 2$ and take $x \in B^{\alpha-2}$ with maximum colour under $c_{\pi'}$; (ii) apply Lemma 4 to $G[B^{\alpha-1} \setminus \{w\}]$; (iii) and let $\pi(w) = 1$ and $\pi(wx) = \pi'(wx) + 1$. Note that the resulting labelling is a neighbour-distinguishing-[3]-total-labelling (π, c_π) of G . In order to see this, note that $\pi(e) \in \{1, 2, 3\}$, $e \in E(G)$, $c_\pi(v) = c_{\pi'}(v)$, $v \in V(G) \setminus \{v_{i(k+1)+k} : 0 \leq i \leq \alpha - 2\}$, and $c_{\pi'}(v) \leq c_\pi(v) \leq c_{\pi'}(v) + 2$, otherwise. Note that the last mentioned vertices, that eventually had their colours changed, are pairwise nonadjacent and have colours in π' that are greater than the colours of their neighbours. Therefore, any two adjacent vertices have distinct colours under c_π , and the result follows. \square

Hulgan et al. [2] proved that, for $a, a', b, b' \in \mathbb{R}$, with $a \neq b$ and $a' \neq b'$, a regular graph G has a neighbour-distinguishing- $\{a, b\}$ -total-labelling if and only if it has a neighbour-distinguishing- $\{a', b'\}$ -total-labelling. By noting that every power of cycles is a regular graph and has a neighbour-distinguishing-[2]-total-labelling, we obtain the following corollary.

Corollary 7. *Every power of cycles has a neighbour-distinguishing- $\{a, b\}$ -total-labelling, for $a, b \in \mathbb{R}$, $a \neq b$.* \square

4. Acknowledgements

This work was partially supported by grant 2014/16861-8, São Paulo Research Foundation (FAPESP).

References

- [1] Dudek, A. and Wajc, D. (2011). On the complexity of vertex-coloring edge-weightings. *Discrete Mathematics and Theoretical Computer Science*, 13(3):45–50.
- [2] Hulgan, J., Lehel, J., Ozeki, K., and Yoshimoto, K. (2016). Vertex Coloring of Graphs by Total 2-Weightings. *Graphs and Combinatorics*, 32(6):2461–2471.
- [3] Kalkowski, M., Karóński, M., and Pfender, F. (2010). Vertex-coloring edge-weightings: Toward the 1-2-3-conjecture. *Journal of Combinatorial Theory, Series B*, 100(3):347–349.
- [4] Karóński, M., Łuczak, T., and Thomason, A. (2004). Edge weights and vertex colours. *Journal of Combinatorial Theory, Series B*, 91(1):151–157.
- [5] Luiz, A. G., Campos, C. N., Dantas, S., and Sasaki, D. (2015). The 1,2-Conjecture for powers of cycles. *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, 50:83–88.
- [6] Luiz, A. G., Campos, C. N., Dantas, S., and Sasaki, D. (2017). The 1,2-conjecture for powers of paths and powers of cycles. (submitted).
- [7] Przybyło, J. and Woźniak, M. (2010). On a 1,2 Conjecture. *Discrete Mathematics and Theoretical Computer Science*, 12(1):101–108.
- [8] Seymour, P. D. (1995). Nowhere-zero flows. In *Handbook of combinatorics* (eds. Graham, R. L., Grotschel, M., and Lovasz, L.), North-Holland, Amsterdam, pages 289–299.
- [9] Thomassen, C., Wu, Y., and Zhang, C.-Q. (2016). The 3-flow conjecture, factors modulo k , and the 1-2-3-conjecture. *Journal of Combinatorial Theory, Series B*, 121:308–325.

Uma versão algorítmica do Lema Local de Lovász*

Bruno Pasqualotto Cavalari¹

¹Instituto de Matemática e Estatística, Universidade de São Paulo
Rua do Matão 1010, 05508–090 São Paulo, SP

bruno.cavalari@usp.br

Abstract. *The Lovász Local Lemma (LLL) is a powerful tool for proving the existence of combinatorial objects which satisfy a given set of constraints. More precisely, given a finite collection of “bad” events \mathcal{A} , the LLL gives sufficient conditions for the probability $\mathbb{P}[\bigcap_{A \in \mathcal{A}} \bar{A}]$ to be positive. In a breakthrough by Moser and Tardos [Moser and Tardos 2010], an efficient algorithm for finding objects whose existence is guaranteed by the LLL was developed. This work surveys a few applications of the LLL in combinatorics and seeks to apply the Moser-Tardos algorithm in those problems.*

Resumo. *O Lema Local de Lovász (LLL) é uma ferramenta poderosa para provar a existência de objetos combinatórios que satisfazem um dado conjunto de restrições. Mais precisamente, dado uma coleção finita \mathcal{A} de eventos “ruins”, o LLL dá condições suficientes para que a probabilidade $\mathbb{P}[\bigcap_{A \in \mathcal{A}} \bar{A}]$ seja positiva. Em um celebrado artigo [Moser and Tardos 2010], Moser e Tardos desenvolveram um algoritmo para encontrar eficientemente tais objetos cuja existência é garantida pelo LLL. Esse trabalho discute aplicações do LLL em problemas de combinatória e aplica o algoritmo de Moser e Tardos nesses problemas.*

1. O Lema Local de Lovász

Seja \mathcal{A} uma coleção finita de eventos não triviais num mesmo espaço de probabilidade. Se os eventos de \mathcal{A} são mutuamente independentes, então $\mathbb{P}[\bigcap_{A \in \mathcal{A}} \bar{A}] = \prod_{A \in \mathcal{A}} \mathbb{P}[\bar{A}] > 0$. É natural imaginar que algo similar acontece quando os eventos são “limitadamente dependentes”. A seguinte definição ajuda a formalizar esse conceito.

Definição 1. Um digrafo $D = (\mathcal{A}, E)$ é dito um **digrafo de dependência** para \mathcal{A} se cada evento $A \in \mathcal{A}$ é mutuamente independente dos eventos em $\mathcal{A} \setminus (\Gamma(A) \cup \{A\})$, onde $\Gamma(A) := \{B \in \mathcal{A} : (A, B) \in E\}$.

O Lema Local de Lovász nos permite evitar todos os eventos de \mathcal{A} , contanto que as probabilidades dos eventos não sejam muito grandes e o grafo de dependência não tenha muitas arestas.

Teorema 2 (Lema Local de Lovász [Erdős and Lovász 1975]). *Seja \mathcal{A} uma coleção finita de eventos e $D = (\mathcal{A}, E)$ um digrafo de dependência para \mathcal{A} . Se existe uma função $x: \mathcal{A} \rightarrow [0, 1)$ tal que*

$$\mathbb{P}[A] \leq x(A) \prod_{B \in \Gamma(A)} (1 - x(B)) \quad \text{para todo } A \in \mathcal{A}, \quad (1)$$

então $\mathbb{P}[\bigcap_{A \in \mathcal{A}} \bar{A}] = \prod_{A \in \mathcal{A}} (1 - x(A)) > 0$. ■

*Trabalho executado com apoio da FAPESP, Proc. 2015/26678-9.

2. Algumas aplicações

Uma coloração própria de um grafo G é dita β -frugal se cada cor aparece no máximo β vezes na vizinhança de cada vértice. Defina $F(G)$ como o menor número para o qual existe uma coloração β -frugal de G com $F(G)$ cores. Alon (veja [Hind et al. 1997, p. 478]) provou que existe uma constante $c = c_\beta$ tal que para todo Δ existe um grafo G com grau máximo Δ que satisfaz $F(G) > c\Delta^{1+1/\beta}$. O seguinte teorema mostra que esse resultado é assintoticamente ótimo. (Este resultado é uma pequena amostra das ideias envolvidas na prova de que o número cromático total de um grafo é $\Delta + \text{polylog}(\Delta)$ [Hind et al. 1999]).

Teorema 3 (Hind, Molloy e Reed [Hind et al. 1997]). *Se G tem grau máximo $\Delta \geq \beta^\beta$, então G tem uma coloração β -frugal usando no máximo $16\Delta^{1+1/\beta}$ cores.*

Demonstração. Para $\beta = 1$, o resultado é equivalente a encontrar uma coloração própria de G^2 , isto é, o grafo obtido de G adicionando-se arestas entre vértices com distância igual a 2. Como esse grafo tem grau máximo menor ou igual a Δ^2 , ele tem uma coloração com $\Delta^2 + 1 \leq 16\Delta^2 = 16\Delta^{1+1/\beta}$ cores.

Suponha então que $\beta \geq 2$. Defina $C = 16\Delta^{1+1/\beta}$. Para cada vértice de G atribuímos aleatoriamente uma cor entre $\{1, \dots, C\}$ com probabilidade uniforme. Para cada aresta uv de G definimos o evento A_{uv} de que os vértices u e v recebam a mesma cor. Chamamos tais eventos de eventos do Tipo A. Além disso, para cada conjunto $\{u_1, \dots, u_{\beta+1}\}$ de $\beta+1$ vértices todos na vizinhança de um mesmo vértice, definimos o evento $B_{u_1, \dots, u_{\beta+1}}$ de que cada u_i receba a mesma cor. Chamamos tais eventos de eventos do Tipo B. Claramente, se evitamos todos os eventos do Tipo A e do Tipo B, então a nossa coloração aleatória é β -frugal.

Note que a probabilidade de cada evento do Tipo A é $1/C$, e a probabilidade de cada evento do Tipo B é $1/C^{\beta-1}$. Além disso, cada um dos eventos (Tipo A ou Tipo B) não é independente de no máximo $(\beta+1)\Delta$ eventos do Tipo A e $(\beta+1)\Delta \binom{\Delta}{\beta}$ eventos do Tipo B. Feitas estas observações, não é difícil verificar que a atribuição $x(A) = 2/C$ para eventos A do Tipo A e $x(B) = 2/C^{\beta-1}$ para eventos B do Tipo B satisfaz (1). ■

2.1. Outras aplicações

Omitimos provas por questões de espaço.

Coloração acíclica de arestas. Uma coloração própria das arestas de um grafo é dita acíclica se o grafo induzido pela união de quaisquer duas classes de cores é uma floresta. Molloy e Reed [Molloy and Reed 1999] provaram usando o LLL que todo grafo G com grau máximo Δ tem uma coloração acíclica com no máximo 16Δ cores.

Satisfatibilidade de fórmulas k -CNF. O problema da satisfatibilidade de fórmulas k -CNF consiste em, dada uma fórmula booleana ϕ na forma normal conjuntiva, onde cada cláusula tem exatamente k literais distintos, decidir se existe uma interpretação satisfatível de ϕ . Dizemos que uma cláusula intersecta outra cláusula se elas compartilham alguma variável. Erdős e Lovász [Erdős and Lovász 1975] provaram, usando o LLL, que toda fórmula k -CNF em que cada cláusula intersecta no máximo 2^{k-2} outras cláusulas é satisfatível. Note que isso não impõe restrições no número total de cláusulas.

Roteamento de pacotes. Considere um grafo G e um conjunto de pacotes i , a cada um dos quais é associado um par de vértices (s_i, t_i) e um caminho P_i que conecta

s_i a t_i . Cada pacote i precisa percorrer o caminho P_i para chegar ao seu destino final. Assumimos um modelo síncrono, em que cada aresta pode carregar apenas um pacote por instante de tempo. Nosso objetivo é encontrar um escalonamento que minimize o tempo de todos os pacotes chegarem ao seu destino final. Como os caminhos já estão especificados, nossa única decisão no escalonamento diz respeito ao sistema de filas, isto é: quando vários pacotes querem passar por uma mesma aresta, precisamos escolher quem passa primeiro.

Dois parâmetros são importantes no problema: a congestão c , definida como o número máximo de caminhos que passam por uma aresta qualquer, e a dilatação d , definida como o comprimento máximo de um caminho qualquer. Não é difícil se convencer de que o tempo de um escalonamento ótimo é $\Omega(c + d)$. Leighton et al. [Leighton et al. 1999] demonstraram com o LLL a existência de um escalonamento $O(c + d)$, usando filas de tamanho constante em cada aresta.

3. O algoritmo de Moser e Tardos

Para conseguir uma versão algorítmica do LLL, Moser e Tardos consideraram um cenário levemente modificado do Lema Local de Lovász, mas que ainda é válido na maior parte das aplicações conhecidas.

Seja \mathcal{P} um conjunto finito de variáveis aleatórias mutuamente independentes num mesmo espaço de probabilidade. Suporemos que todo evento de \mathcal{A} é determinado por um subconjunto dessas variáveis. Diremos que uma atribuição de valores para as variáveis de \mathcal{P} *viola* o evento $A \in \mathcal{A}$ se essa atribuição faz com que A aconteça. Para cada evento $A \in \mathcal{A}$, denote por $\text{vbl}(A)$ um conjunto minimal fixo das variáveis de \mathcal{P} que determina A . Defina também $\Gamma(A) := \{B \in \mathcal{A} : \text{vbl}(B) \cap \text{vbl}(A) \neq \emptyset\}$.

Seja D o digrafo com conjunto de vértices \mathcal{A} e tal que a vizinhança de um evento A é $\Gamma(A)$. Temos que A é mutuamente independente de todos os eventos em $\mathcal{A} \setminus (\Gamma(A) \cup \{A\})$ e D é um digrafo de dependência para \mathcal{A} . O algoritmo de Moser e Tardos é como segue.

Algoritmo 1: Algoritmo de Moser e Tardos

- 1 **para todo** $P \in \mathcal{P}$ **faça**
 - 2 $v_P \leftarrow$ uma valoração aleatória de P (de acordo com sua distribuição);
 - 3 **enquanto** $\exists A \in \mathcal{A}$: A é violado quando $(P = v_P : \forall P \in \mathcal{P})$ **faça**
 - 4 escolha um evento violado $A \in \mathcal{A}$ de acordo com alguma regra qualquer fixada;
 - 5 **para todo** $P \in \text{vbl}(A)$ **faça**
 - 6 $v_P \leftarrow$ uma nova valoração aleatória de P (de acordo com sua distribuição);
 - 7 **devolva** $(v_P)_{P \in \mathcal{P}}$
-

Cada vez que um evento A é escolhido na linha 4 dizemos que ele foi *reamostrado*. Note que a eficiência do método depende de que (i) o número de reamostragens não é muito grande; (ii) valores aleatórios para cada variável $P \in \mathcal{P}$ podem ser eficientemente amostrados; (iii) verificar (e encontrar) a ocorrência de um evento também pode ser feito eficientemente. O resultado de Moser e Tardos trata do primeiro problema.

Teorema 4 (Moser e Tardos [Moser and Tardos 2010]). *Seja \mathcal{P} um conjunto finito de variáveis aleatórias mutuamente independentes num mesmo espaço de probabilidade e \mathcal{A} uma coleção finita de eventos determinados por essas variáveis. Se \mathcal{A} satisfaz as condições do LLL, então existe uma atribuição de valores às variáveis de \mathcal{P} que não viola nenhum dos eventos de \mathcal{A} . Além disso, o número esperado de reamostragens do evento $A \in \mathcal{A}$ que o algoritmo aleatório acima faz é no máximo $x(A)(1 - x(A))^{-1}$. Portanto, o número total esperado de amostragens é $\sum_{A \in \mathcal{A}} x(A)(1 - x(A))^{-1}$. ■*

4. O algoritmo na prática

Uma análise mais cuidadosa do algoritmo de Moser e Tardos é feita em [Haeupler et al. 2011]. Um dos parâmetros fundamentais da análise é

$$\delta := \min_{A \in \mathcal{A}} x(A) \prod_{B \in \Gamma(A)} (1 - x(B)).$$

Note que, nas hipóteses do LLL, vale que $\delta \geq \min_{A \in \mathcal{A}} \mathbb{P}(A)$. O primeiro resultado de [Haeupler et al. 2011] é o seguinte.

Teorema 5 (Haeupler, Saha e Srinivasan). *Suponha que estamos nas mesmas condições do Teorema 4. Então o número total esperado E de amostragens realizadas pelo algoritmo satisfaz $E \leq n(\log 1/\delta) \max_{A \in \mathcal{A}} (1 - x(A))^{-1}$. ■*

Aplicação em colorações frugais

Proposição 6. *Seja G um grafo nas condições do Teorema 3. Existe um algoritmo aleatório com tempo esperado $O(\beta n^2 \Delta \log \Delta)$ que encontra uma coloração β -frugal de G .*

Demonstração. Note que é possível descobrir se uma coloração não é frugal em tempo $O(n\Delta)$. Além disso, na prova do Teorema 3 os eventos satisfazem $\delta \geq \min_{A \in \mathcal{A}} \mathbb{P}(A) = 1/C^{\beta-1}$. Portanto, $\log 1/\delta \leq \log(C^{\beta-1}) \leq \beta \log \Delta$. Temos ainda que $\max_{A \in \mathcal{A}} (1 - x(A))^{-1} = 1/(1 - 2/C) \leq 3$. Segue que o tempo esperado do algoritmo de Moser e Tardos nesse problema é $E = O(\beta n^2 \Delta \log \Delta)$. ■

Referências

- Erdős, P. and Lovász, L. (1975). Problems and results on 3-chromatic hypergraphs and some related questions. In *Infinite and finite sets*, pages 609–627. North-Holland, Amsterdam.
- Haeupler, B., Saha, B., and Srinivasan, A. (2011). New constructive aspects of the Lovász local lemma. *J. ACM*, 58(6):Art. 28, 28.
- Hind, H., Molloy, M., and Reed, B. (1997). Colouring a graph frugally. *Combinatorica*, 17(4):469–482.
- Hind, H., Molloy, M., and Reed, B. (1999). Total coloring with $\Delta + \text{poly}(\log \Delta)$ colors. *SIAM J. Comput.*, 28(3):816–821.
- Leighton, T., Maggs, B., and Richa, A. W. (1999). Fast algorithms for finding O (congestion + dilation) packet routing schedules. *Combinatorica*, 19(3):375–401.
- Molloy, M. and Reed, B. (1999). Further algorithmic aspects of the local lemma. In *STOC '98 (Dallas, TX)*, pages 524–529. ACM, New York.
- Moser, R. A. and Tardos, G. (2010). A constructive proof of the general Lovász local lemma. *J. ACM*, 57(2):Art. 11, 15pp.

The Least-Dependency Constrained Spanning Tree Problem

Luiz Alberto Viana¹, Manoel Campêlo¹

¹Mestrado e Doutorado em Ciência da Computação – Universidade Federal do Ceará

Abstract. We introduce the Least-Dependency Constrained Spanning Tree Problem, which consists of finding a spanning tree where each edge has at least one edge of its dependency set, if non-empty, also in the tree. The dependencies on the input graph G are described by a digraph D where the vertices are the edges of G , and the in-neighbors of a vertex are its dependency set. We show that the optimization problem is NP-hard even if G is a chordal cactus with maximum degree 3 or diameter at most 2, and D is a disjoint union of arborescences of height 2. The same complexity is proved when G is planar bipartite, and each component of D is an oriented cycle or an anti-arborescence of height 1. We also report two polynomial cases.

1. Introduction

Finding a minimum spanning tree is known to be easy, but extra requirements for the tree can turn the problem NP-hard. One of the NP-hard variations occurs when conflict constraints over pairs of edges are imposed [Darmann et al. 2011, Zhang et al. 2011, Samer and Urrutia 2015]. These constraints are naturally described by an undirected simple graph, where each edge is a pair of conflicting edges of the input graph. Inspired by this problem, we introduce the Least-Dependency Constrained Spanning Tree problem, whose constraints are represented by a directed graph.

Let $G = (V, E)$ be a connected graph and $D = (E, A)$ be a digraph whose vertices are the edges of G . $e_1 \in E$ is a dependency of $e_2 \in E$ if $(e_1, e_2) \in A$. The *Least-Dependency Constrained Spanning Tree Problem* ($\text{L-DCST}(G, D)$) consists in deciding whether there is a spanning tree T of G such that each edge in T either has an empty dependency set or *at least* one of its dependencies is also in T . The corresponding optimization version, where a weighting function $w : E \rightarrow \mathbb{R}^+$ is considered and one wants to minimize the weight of tree, will be denoted $\text{L-DCMST}(G, D, w)$.

Applications for this problem appear, for instance, in communication systems when a link can only be used if the message arrives through certain other links, due to protocol conversion restrictions on the nodes of the network [Viana 2016].

In this text, we use many concepts from graph theory. For those not familiar with them, we refer to classical books in the area such as [Douglas 2001].

2. NP-completeness

We show that $\text{L-DCST}(G, D)$ is NP-complete even if the structure of both G and D are very simple. We use a reduction from 2 in 3 3-SAT.

An NP-complete variation of 3-SAT is 1 in 3 3-SAT which consists of deciding whether a formula can be satisfied with every clause having exactly one true literal [Gary and Johnson 1979]. We can define 2 in 3 3-SAT analogously. Note that 1 in 3 3-SAT can be reduced to 2 in 3 3-SAT by negating the literals of all clauses.

Given an instance of 2 in 3 3-SAT, we build an instance of L-DCST(G, D) as illustrated in Figure 1. We start G with a universal vertex v ; for each variable x , v is connected to vertices v_x^1 and v_x^2 by edges e_x and $e_{\bar{x}}$, respectively, and v_x^1 and v_x^2 are neighbors by edge a_x ; for each clause $C = l_1 \vee l_2 \vee l_3$, v is connected to vertices v_C^1 and v_C^2 by edges $e_{l_1}^C$ and $e_{l_2}^C$, respectively, while v_C^1 and v_C^2 are linked by edge $e_{l_3}^C$. We build D as follows: there are arcs from a_x to e_x and $e_{\bar{x}}$, for each variable x ; there is an arc from e_l to e_l^C if literal l occurs in clause C . Note that G is a chordal cactus (actually, a union of triangles whose pairwise intersection is v), and D is a union of arborescences.

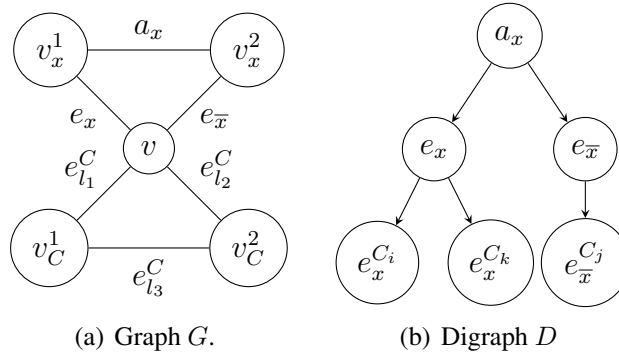


Figure 1. Illustration of the 2 in 3 3-SAT reduction.

One can check that the 2 in 3 3-SAT instance has a “yes” answer if, and only if, the corresponding instance L-DCST(G, D) is feasible, which leads to the following theorem.

Theorem 1 *L-DCST(G, D) is NP-complete, even if G is a chordal cactus whose diameter is 2, and D is a union of arborescences whose height is 2.*

Notice that G is planar and has arbitrary $\Delta(G)$. We can rearrange its triangles to get $\Delta(G) = 3$. We make the triangles (related to clauses and variables) disjoint and link them as in Figure 2.

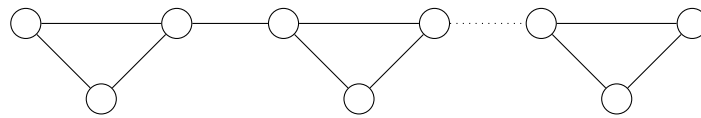


Figure 2. Illustration of the 2 in 3 3-SAT reduction with $\Delta(G) = 3$.

We now present a reduction to L-DCMST(G, D) from 3-SAT. It gives other insights on the hardness of the problem.

Given a formula, an instance of L-DCMST(G, D) is built as follows. G has vertices u, v and v' , and edges $a = \{u, v\}$ and $a' = \{u, v'\}$; for each clause C , there is a vertex v_C and an edge $e_C = \{u, v_C\}$; for each variable x and each clause C containing x or \bar{x} , there is a vertex v_x^C and the edges $e_x^C = \{v, v_x^C\}$ and $e_{\bar{x}}^C = \{v', v_x^C\}$. In the digraph D , a and a' are mutually dependent; for each clause $C = l_1 \vee l_2 \vee l_3$, $e_{l_1}^C, e_{l_2}^C$ and $e_{l_3}^C$ are the dependencies of e_C ; for each literal l , there is an oriented cycle with vertices e_l^C , for all C containing l . See Figure 3.

A truth valuation of the formula clearly translates into a feasible tree. Conversely, let T be a feasible tree. Due to connectivity of T and the mutual dependencies between

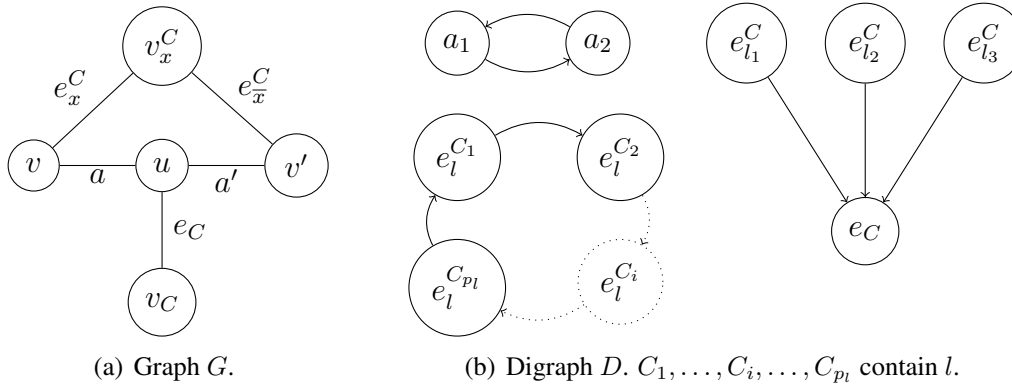


Figure 3. Illustration of the 3-SAT reduction.

a and a' , these two edges as well as e_C , for all clause C , must be chosen. Then, if $C = l_1 \vee l_2 \vee l_3$, the oriented star in D related to C ensures that e_l^C is in T , for some $l \in \{l_1, l_2, l_3\}$, and so e_l^C is not in T (since T is acyclic). Besides, the oriented cycle in D related to l guarantees that e_l^C is in T , for all C containing l . This indicates a consistent value for every variable that makes the formula satisfiable. Therefore, the following result holds.

Theorem 2 $L\text{-DCMST}(G, D)$ is NP-Complete, even if G is planar bipartite with diameter 3, and D is a union of oriented cycles and anti-arborescences of height 1.

3. Polynomial cases

We present two cases where $L\text{-DCMST}(G, D, w)$ is solvable in polynomial time. In both of them, we restrict the structure of D so that the problem can be decomposed in a polynomial number of Minimum Spanning Tree subproblems.

Theorem 3 If D has $O(\log_2(|V(G)|))$ components, and each of them is either an oriented cycle or an arborescence whose subjacent graph is a star, $\text{DCMST}(G, D, w)$ can be solved in polynomial time.

Proof. If D is a directed cycle, either G is a tree or $L\text{-DCMST}(G, D, w)$ is infeasible. When D is an arborescence whose subjacent graph is a star, we delete its root r and contract the related edge of G , obtaining G' (we do this again in case r is a leaf, obtaining G'') and solve the Minimum Spanning Tree Problem for the resulting graph G' (G'').

When D is a union of oriented cycles and directed stars, we have a choice to make for each of its (say, k) components: for each directed cycle, we decide to include none or all of its edges in the solution; for each directed star, we decide to include or not the root of D (and its unique descendant node, if the root is a leaf) and then allow or forbid all the other vertices of the star (edges of G) to take part of the solution. This way, we have 2^k subproblems to consider, each of them solvable in polynomial time. If $k = O(\log_2(|V(G)|))$, then all these subproblems can be solved in polynomial time. ■

Notice the importance of restricting the number of components of D in the above theorem. Theorem 2 shows that the problem may become hard otherwise.

Theorem 4 $L\text{-DCMST}(G, D, w)$ can be solved in polynomial time, if D is an arborescence whose subjacent graph is a caterpillar.

Proof. Let $D = (P \cup L, A)$ be an arborescence, where P induces the main path and L comprises the leaves of the subjacent caterpillar. First, suppose that D is rooted at $p_1 \in P$. Then, p_1 has exactly one or two neighbors in P .

In the first case, consider $P = \{p_1, p_2, \dots, p_k\}$. Note that there is an arc from p_i to p_{i+1} , $1 \leq i \leq k-1$. Let $L_i \subseteq L$ be the set of leaves adjacent to p_i , $1 \leq i \leq k$. Observe that $\text{L-DCMST}(G, D, w)$ can be decomposed into k subproblems. The i th subproblem is the Minimum Spanning Tree Problem where the edges from $\{p_1, p_2, \dots, p_i\}$ *must* be chosen and the edges from $L_1 \cup \dots \cup L_i$ *can* be chosen (it may be infeasible if the first set induces a cycle in G). Since each of these subproblems can be solved in polynomial time, and there are k of them, $\text{L-DCMST}(G, D, w)$ can be solved in polynomial time with its optimal solution being the one whose cost is minimum among the optimal solutions of the feasible subproblems.

If p_1 has two neighbors in P , consider $P = \{p_1, p_1^1, p_2, \dots, p_k, p_1^2, p_2^2, \dots, p_l^2\}$, $k+l = |P| - 1$, such that $p_1, p_1^1, p_2, \dots, p_k$ and $p_1, p_1^2, p_2^2, \dots, p_l^2$ are directed paths in D . Also, consider $L_1 \subseteq L$ as the set of leaves incident to p_1 , and let $L_i^1, L_j^2 \subseteq L$ be the analogously defined sets for p_i^1 and p_j^2 , respectively, $1 \leq i \leq k$, $1 \leq j \leq l$. Note $\text{L-DCMST}(G, D, w)$ can be decomposed into kl subproblems. We index the subproblems with tuples (i, j) , $1 \leq i \leq k$, $1 \leq j \leq l$. The subproblem (i, j) is the Minimum Spanning Tree Problem for the subgraph of G containing p_1, p_a^1, p_b^2, L_a^1 and L_b^2 edges, $1 \leq a \leq i$, $1 \leq b \leq j$, which is infeasible if the p_1, p_a^1 and p_b^2 edges induce a cycle. Similarly as in the first case, $\text{L-DCMST}(G, D, w)$ can be solved in polynomial time with its optimal solution being the one whose cost is minimum among the optimal solutions of the feasible subproblems.

To finish the proof, we consider D rooted at an L vertex. It is clear that the corresponding edge must be part of any feasible solution for $\text{DCMST}(G, D, w)$. Thus, we contract it and fall back into the previous cases. ■

References

- Darmann, A., Pferschy, U., Schauer, J., and Woeginger, G. J. (2011). Paths, trees and matchings under disjunctive constraints. *Discrete Applied Math.*, 159(16):1726 – 1735.
- Douglas, B. (2001). *West. Graph Theory*. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
- Gary, M. R. and Johnson, D. S. (1979). *Computers and Intractability: A Guide to the Theory of NP-completeness*.
- Samer, P. and Urrutia, S. (2015). A branch and cut algorithm for minimum spanning trees under conflict constraints. *Optimization Letters*, 9(1):41–55.
- Viana, L. A. (2016). Árvore geradora com dependências mínima. Master’s thesis, Federal University of Ceará.
- Zhang, R., Kabadi, S., and Punnen, A. (2011). The minimum spanning tree problem with conflict constraints and its variations. *Discrete Optimization*, 8(2):191 – 205.

On a joint technique for Hajós' and Gallai's Conjectures ^{*}

Fábio Botler¹, Maycon Sambinelli², Rafael S. Coelho³, Orlando Lee²

¹Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas – Universidad de Chile (UCHile)
Santiago – Chile

²Instituto de Computação – Universidade Estadual de Campinas (Unicamp)
Campinas, SP – Brasil

³Instituto Federal do Norte de Minas Gerais (IFNMG)
Montes Claros, MG – Brasil

fbotler@dii.uchile.cl

{msambinelli, lee}@ic.unicamp.br

rafael.coelho@ifnmg.edu.br

Abstract. A path (resp. cycle) decomposition of a graph G is a set of edge-disjoint paths (resp. cycles) of G that covers the edge-set of G . Gallai (1966) conjectured that every graph on n vertices admits a path decomposition of size at most $\lfloor (n+1)/2 \rfloor$, and Hajós (1968) conjectured that every Eulerian graph on n vertices admits a cycle decomposition of size at most $\lfloor (n-1)/2 \rfloor$. In this paper, we verify Gallai's Conjecture for series-parallel graphs, and for graphs with maximum degree 4. Moreover, we show that the only graphs in these classes that do not admit a path decomposition of size at most $\lfloor n/2 \rfloor$ are isomorphic to K_3 , K_5 or $K_5 - e$. The technique developed here is further used to present a new proof of a result of Granville and Moisiadis (1987) that states that Eulerian graphs with maximum degree 4 satisfy Hajós' Conjecture.

Resumo. Uma decomposição de um grafo G em caminhos (resp. circuitos) é um conjunto de caminhos (resp. circuitos) arestas-disjuntos de G que cobre o conjunto de arestas de G . Gallai (1966) conjecturou que todo grafo com n vértices admite uma decomposição em caminhos \mathcal{D} tal que $|\mathcal{D}| \leq \lfloor (n+1)/2 \rfloor$, e Hajós (1968) conjecturou que todo grafo Euleriano com n vértices admite uma decomposição em circuitos \mathcal{D} tal que $|\mathcal{D}| \leq \lfloor (n-1)/2 \rfloor$. Neste trabalho, nós provamos a Conjectura de Gallai para grafos série-paralelos, e para grafos com grau máximo 4. Além disso, nós mostramos que os únicos grafos nessas classes que não admitem uma decomposição \mathcal{D} tal que $|\mathcal{D}| \leq \lfloor n/2 \rfloor$ são isomorfos a K_3 , K_5 e $K_5 - e$. A técnica desenvolvida aqui é também usada para apresentar uma nova prova de um resultado de Grainwille e Moisiadis (1987) que diz que grafos Eulerianos com grau máximo 4 satisfazem a Conjectura de Hajós.

^{*}This research has been partially supported by CNPq Projects (Proc. 477203/2012-4 and 456792/2014-7), Fapesp Project (Proc. 2013/03447-6). F. Botler is partially supported by CAPES (Proc. 1617829), Millenium Nucleus Information and Coordination in Networks (ICM/FIC RC 130003), and FONDECYT (proyecto N°3170878). M. Sambinelli is supported by CNPq (Proc. 141216/2016-6). O. Lee is supported by CNPq (Proc. 311373/2015-1 and 477692/2012-5).

1. Introduction

A *decomposition* \mathcal{D} of a graph G is a set $\{H_1, \dots, H_k\}$ of edge-disjoint subgraphs of G that cover the edge-set of G . We say that \mathcal{D} is a *path* (resp. *cycle*) *decomposition* if H_i is a path (resp. cycle) for $i = 1, \dots, k$. We say that a path (resp. cycle) decomposition \mathcal{D} of a graph (resp. an Eulerian graph) G is *minimum* if for any path (resp. cycle) decomposition \mathcal{D}' of G we have $|\mathcal{D}| \leq |\mathcal{D}'|$. The size of a minimum path (resp. cycle) decomposition is called the *path* (resp. *cycle*) *number* of G , and is denoted by $\text{pn}(G)$ (resp. $\text{cn}(G)$). In this paper, we focus in the following conjectures concerning minimum path and cycles decompositions of graphs (see [Bondy 2014, Lovász 1968]).

Conjecture 1 (Gallai, 1966) *If G is a connected graph with n vertices, then $\text{pn} \leq \lfloor \frac{n+1}{2} \rfloor$.*

Conjecture 2 (Hajós, 1968) *If G is an Eulerian graph with n vertices, then $\text{cn} \leq \lfloor \frac{n-1}{2} \rfloor$.*

Although these conjectures are very similar, the results obtained towards their verification are distinct. In 1968, Lovász proved that a graph with n vertices can be decomposed into at most $\lfloor n/2 \rfloor$ paths and cycles. A consequence of this result is that if G is a graph with at most one vertex of even degree, then $\text{pn}(G) = \lfloor n/2 \rfloor$. Pyber (1996) and Fan (2005) extended this result, but the conjecture is still open. In [Botler and Jiménez 2017], one of the authors verified Conjecture 1 for a family of even regular graphs, and Jiménez and Wakabayashi (2014) verified it for a family of triangle-free graphs.

In another direction, Geng, Fang and Li (2015) verified Conjecture 1 for maximal outerplanar graphs and 2-connected outerplanar graphs, and Favaron and Kouider (1988) verified it for Eulerian graphs with maximum degree 4. While we were writing this paper, we learned that Bonamy and Perrett [Bonamy and Perrett 2016] verified Conjecture 1 for graphs with maximum degree 5.

Conjecture 2, on the other hand, was only verified for graphs with maximum degree 4 [Granville and Moisiadis 1987] and for planar graphs [Seyffarth 1992].

In this paper, we present a technique that showed to be useful to deal with both Gallai's and Hajós' Conjectures. Our technique consists of finding, given a graph G , a special subgraph H , which we call a *reducing subgraph* of G , that have small path or cycle number compared to the number of vertices of G that are isolated in $G - E(H)$. In this paper we focus on series-parallel graphs and graphs with maximum degree 4. We verify Gallai's and Hajós' Conjectures for these classes in Section 2 and 3, respectively. Due to space limitations, we present only the sketch of some proofs.

2. Reducing subgraphs and Gallai's Conjecture

Let G be a graph and let H be a subgraph of G . Given a positive integer r , we say that H is an *r -reducing subgraph* of G if $G - E(H)$ has at least $2r$ isolated vertices and $\text{pn}(H) \leq r$. The following lemma arises naturally.

Lemma 1 *Let G be a graph and $H \subseteq G$ be an r -reducing subgraph of G . If $\text{pn}(G - E(H)) \leq \lfloor n/2 \rfloor - r$, then $\text{pn}(G) \leq \lfloor n/2 \rfloor$.*

In order to verify Conjecture 1 for graphs with maximum degree 4, we first extend the results in [Geng et al. 2015] by proving that Gallai's Conjecture holds for series-parallel graphs, which are precisely the graphs with no subdivision of K_4 . The proof of the next theorem relies on the fact that series-parallel graphs with at least four vertices

contain at least two non-adjacent vertices of degree at most 2. This fact is easy to verify, since series-parallel graphs are also the graphs with treewidth at most 2.

Theorem 2 *Let G be a connected graph on n vertices. If G has no subdivision of K_4 , then $\text{pn}(G) \leq \lfloor n/2 \rfloor$ or G is isomorphic to K_3 .*

Sketch of the proof. For a contradiction, let G be a minimum counter-example for the statement. It is not hard to verify that G has at least five vertices. Thus, let u, v be two non-adjacent vertices of degree at most 2. We can show that u and v have at most one neighbor in common, which implies that there is a path P containing both u and v as internal vertices. Let H be the graph consisting of P together with the components of $G - E(P)$ that isomorphic to K_3 . We can show that H is an r -reducing subgraph and that $\text{pn}(G - E(H)) \leq \lfloor n/2 \rfloor - r$. Therefore, Lemma 1 concludes the proof.

The same technique verifies Conjecture 1 for planar graphs with girth at least 6.

Theorem 3 *If G is a planar graph on n vertices and girth at least 6, then $\text{pn}(G) \leq \lfloor n/2 \rfloor$.*

The next theorem verifies Conjecture 1 for graphs with maximum degree 4.

Theorem 4 *If G is a connected graph on n vertices and has maximum degree 4, then $\text{pn}(G) \leq \lfloor n/2 \rfloor$ or G is isomorphic to K_3 , K_5 or to K_5^- .*

Sketch of the proof. For a contradiction, let G be minimum counter-example for the statement. By Theorem 2, we may suppose that G contains a subdivision H of K_4 . Let v_1, v_2, v_3, v_4 be the vertices of H with degree 3, and let S be the set of edges incident to v_i in $G - E(H)$, for $i = 1, 2, 3, 4$. The rest of the proof depends on the structure of the subgraph of G induced by S . We analyze one of the possible cases. Suppose that there are distinct vertices x, y in $V(G)$ such that $S \subseteq \{xv_1, xv_2, yv_3, yv_4\}$. It is not hard to check that $H + S$ can be decomposed into two paths, and v_1, v_2, v_3, v_4 are isolated vertices in $G - E(H) - S$. Now, let H' be the graph consisting of $H + S$ together with the components of $G - E(H) - S$ that are isomorphic to K_3 , K_5 , or $K_5 - e$. Again, we can show that H' is an r -reducing subgraph and that $\text{pn}(G - E(H) - S) \leq \lfloor n/2 \rfloor - r$. Lemma 1 concludes the proof.

3. Reducing subgraphs and Hajós' Conjecture

When dealing with Conjecture 2, the same strategy holds: we first verify Conjecture 2 for graphs with no subdivision of K_4 , and then we show how to extend subdivisions of K_4 in order to obtain a (cycle) reducing subgraph. Given a positive integer r , we say that an Eulerian subgraph H of an Eulerian graph G is an r -cycle reducing subgraph of G if $G - E(H)$ has at least $2r$ isolated vertices and $\text{cn}(H) \leq r$. Analogously to Section 2 we obtain the following Lemma.

Lemma 5 *Let G be an Eulerian graph and $H \subset G$ be an r -cycle reducing subgraph of G . If $\text{cn}(G - E(H)) \leq \lfloor (n - 1)/2 \rfloor - r$, then $\text{cn}(G) \leq \lfloor (n - 1)/2 \rfloor$.*

The next theorems are the main results of this section.

Theorem 6 *If G is an Eulerian graph with n non-isolated vertices and with no subdivision of K_4 , then $\text{cn}(G) \leq \lfloor (n - 1)/2 \rfloor$.*

Sketch of the proof. For a contradiction, let G be minimum counter-example for the statement. Let u, v be vertices of degree at most 2 in G . It is not hard to prove that G

is 2-connected, hence there is a cycle C in G containing u and v . The cycle C is a 1-cycle reducing subgraph of G , and by the minimality of G , we have $\text{cn}(G - E(C)) \leq \lfloor (n - 1)/2 \rfloor - 1$. Therefore, Lemma 5 concludes the proof.

Theorem 7 *If G is an Eulerian graph with n vertices and maximum degree 4, then $\text{cn}(G) \leq \lfloor (n - 1)/2 \rfloor$.*

Sketch of the proof. For a contradiction, let G be minimum counter-example for the statement. By Theorem 6, we may suppose that G contains a subdivision H of K_4 . Thus, $G - E(H)$ contains four vertices, say v_1, v_2, v_3, v_4 , with degree 1. We can suppose, without loss of generality, that $G - E(H)$ contains paths P, Q joining v_1 to v_2 and v_3 to v_4 , respectively. We can prove that the subgraph $H' = H + P + Q$ is an r -cycle reducing subgraph of G and that $\text{cn}(G - E(H')) \leq \lfloor n/2 \rfloor - r$. Lemma 5 concludes the proof.

4. Concluding remarks

Reducing subgraphs have allowed us to obtain both new results and new proofs for known results. Also, this work provides literature with a technique that can be applied at the same time to both Gallai's and Hajós' Conjectures. In a forthcoming work we apply this technique to verify Conjectures 1 and 2 for partial 3-trees.

Referências

- Bonamy, M. and Perrett, T. (2016). Gallai's path decomposition conjecture for graphs of small maximum degree. *ArXiv e-prints*.
- Bondy, A. (2014). Beautiful conjectures in graph theory. *European J. Combin.*, 37:4–23.
- Botler, F. and Jiménez, A. (2017). On path decompositions of $2k$ -regular graphs. *Discrete Mathematics*, 340(6):1405 – 1411.
- Fan, G. (2005). Path decompositions and Gallai's conjecture. *J. Combin. Theory Ser. B*, 93(2):117–125.
- Favaron, O. and Kouider, M. (1988). Path partitions and cycle partitions of Eulerian graphs of maximum degree 4. *Studia Sci. Math. Hungar.*, 23(1-2):237–244.
- Geng, X., Fang, M., and Li, D. (2015). Gallai's conjecture for outerplanar graphs. *Journal of Interdisciplinary Mathematics*, 18(5):593–598.
- Granville, A. and Moisiadis, A. (1987). On Hajós' conjecture (minimum cycle-partitions of the edge-set of Eulerian graphs). *Congr. Numer.*, 56:183–187. Sixteenth Manitoba conference on numerical mathematics and computing (Winnipeg, Man., 1986).
- Jiménez, A. and Wakabayashi, Y. (2014). On path-cycle decompositions of triangle-free graphs. *ArXiv e-prints*.
- Lovász, L. (1968). On covering of graphs. In *Theory of Graphs (Proc. Colloq., Tihany, 1966)*, pages 231–236. Academic Press, New York.
- Pyber, L. (1996). Covering the edges of a connected graph by paths. *J. Combin. Theory Ser. B*, 66(1):152–159.
- Seyffarth, K. (1992). Hajós' conjecture and small cycle double covers of planar graphs. *Discrete Math.*, 101(1-3):291–306. Special volume to mark the centennial of Julius Petersen's "Die Theorie der regulären Graphs", Part II.

Uma técnica para obtenção de atratores de autômatos celulares elementares

Eurico L. P. Ruivo¹, Pedro P. B. de Oliveira^{1,2}

¹Faculdade de Computação e Informática

²Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Computação
Universidade Presbiteriana Mackenzie
São Paulo, SP

eurico.ruivo@mackenzie.br, pedrob@mackenzie.br

Abstract. *Cellular automata are fully discrete dynamical systems with locally-defined dynamics. Such systems, in spite of its simplicity, are capable of showing complex global behaviour. One fundamental question in the study of cellular automata is what kind of limit-behaviour they might have. In the present work we present a method to infer attractors of elementary cellular automata by analysing the growth of the regular expressions describing the time evolution of a particular elementary cellular automaton.*

Resumo. *Autômatos celulares são sistemas dinâmicos totalmente discretos, apresentando uma dinâmica definida localmente. Apesar da simplicidade, tais sistemas são capazes de apresentar comportamento emergente global complexo. Uma questão fundamental no estudo dos autômatos celulares é sobre seu comportamento global para uma evolução temporal infinita do sistema. Aqui apresentamos uma técnica para inferir atratores de autômatos celulares elementares, tomando como base a análise das expressões regulares que descrevem as evoluções temporais finitas de um autômato celular elementar em particular.*

1. Introdução

Autômatos celulares (ACs) são sistemas dinâmicos totalmente discretos cujo comportamento global deriva de uma função definida localmente. ACs foram estudados tanto do ponto de vista matemático-computacional [Wolfram 2002, Kari 2005, Cook 2004], como modelos de sistemas complexos existentes no mundo real [Wolfram 2002], apesar das limitações dos ACs para essa última tarefa, conforme relatado em [Santé et al. 2010], por exemplo.

Em [Wolfram 1994], a complexidade dos ACs foi estudada através da observação de autômatos finitos capazes de reconhecer a linguagem definida pela iteração de uma regra sobre o conjunto de possíveis configurações iniciais. Uma das perguntas feitas no referido trabalho diz respeito a quais são os possíveis comportamentos que podem surgir numa evolução temporal infinita de uma dada regra.

Em um trabalho anterior [De Oliveira et al. 2016] foi apresentado um método para detecção de padrões de crescimento nos autômatos finitos que descrevem as configurações que podem ser obtidas iterando-se uma dada regra sobre o conjunto de configurações iniciais. Tal método possibilita a inferência de autômatos finitos que descrevem o comportamento da regra em questão para um número finito de iterações, mas não a inferência de

seu comportamento-limite. Aqui apresentamos uma técnica para a inferência de atratores de regras de ACEs a partir da análise das propriedades da regra e das expressões regulares que descrevem seu comportamento para evoluções temporais finitas. O presente trabalho consiste na descrição de uma técnica utilizada em parte de um artigo submetido a periódico internacional [Ruivo e de Oliveira 2017].

1.1. Definições básicas

- Um *autômato celular* (AC) é uma quádrupla $A = (S, N, f, d)$ [Kari 2005], na qual: $S = \{0, 1, \dots, k-1\}$, $k \in \mathbb{Z}_+$, é o *conjunto de estados*; $N = (\vec{v}_1, \vec{v}_2, \dots, \vec{v}_n)$, $\vec{v}_i \in \mathbb{Z}^d$, é o *vetor de vizinhança*; $f : S^n \rightarrow S$ é sua *função de transição local* ou *regra local* e $d \in \mathbb{Z}_+$ é sua *dimensão*.
- Uma *configuração* é uma função $c : \mathbb{Z}^d \rightarrow S$. O conjunto das funções de \mathbb{Z}^d em S é denotado por $S^{\mathbb{Z}^d}$ e é denominado o *espaço das configurações*.
- Dado um AC $A = (S, N, f, d)$, a regra local f do AC induz uma *função de transição global* $F : S^{\mathbb{Z}^d} \rightarrow S^{\mathbb{Z}^d}$ no espaço das configurações da seguinte maneira: $(F(c))(\vec{v}) = f(\vec{v} + \vec{v}_1, \vec{v} + \vec{v}_2, \dots, \vec{v} + \vec{v}_n)$, $\forall v \in \mathbb{Z}^d$
- Um *autômato celular elementar* (ACE) é um AC no qual $S = \{0, 1\}$, $N = (-1, 0, 1)$ e $d = 1$. A cada ACE de regra local f é possível associar um número, denominado *número de Wolfram* [Wolfram 2002].
- Sendo F a função global induzida por f , denota-se denotando por $F^t(c)$ a iteração de F t vezes sobre c . Sendo Ω^0 o conjunto de todas as configurações binárias, o conjunto $F^t(\Omega^0)$ é denotado por Ω_f^t . Por sua vez, $\Omega_{f,[w]}^t$ indica o conjunto de configurações obtidas iterando-se F t vezes sobre o conjunto de todas as configurações iniciais que não contém w como subcadeia.
- Dado um ACE A de regra local f e $U \subset \{0, 1\}^{\mathbb{Z}}$, o *conjunto ω -limite de U* é o conjunto $\omega(U)$ dado por [Di Lena e Margara 2010] $\bigcap_{n>0} (\bigcup_{m>n} F^m(U))$. Um *atrator* de A é um conjunto $Y \subset S^{\mathbb{Z}}$ não-vazio tal que $F(Y) = Y$ e $Y = \omega(U)$ para algum U com $F(U) \subseteq U$. O *conjunto-limite* Ω_f como a união de todos os atratores de A . A linguagem que o descreve é denominada *linguagem-limite de f* .

Foi mostrado em [Wolfram 1994] que os conjuntos Ω_f^t obtidos a partir de ACEs podem ser descritos por linguagens regulares fatoriais (denominadas *linguagens de processo*). A representação gráfica do reconhecedor de uma linguagem de processo corresponde a um *grafo de processo* (GP). Para saber se uma cadeia é reconhecida por um GP, basta verificar se existe algum caminho no grafo que corresponda a essa cadeia.

2. Grafos de processo

Dada a regra local f de um ACE, foi descrito em [Wolfram 1994, Wolfram 2002] um método iterativo para obter o GP G_f^t que descreve o conjunto Ω_f^t . Observou-se em [De Oliveira et al. 2016] que as regras 32, 128, 136, 160, 168 e 184 do espaço dos ACEs produziam GPs com padrões de crescimento. No mesmo artigo, foi sugerido um método para reconhecer automaticamente tais padrões, o que possibilitou a inferência direta de GPs para um número maior de iterações t . Apesar de ser possível inferir, a partir da observação do crescimento dos grafos, GPs para evoluções temporais finitas, tal método não pode ser aplicado para obter o conjunto-limite da regra f . A alternativa é analisar a evolução das expressões regulares que descrevem as linguagens induzidas pelos GPs de Ω_f^t .

Dessa forma, a expressão que descreve a linguagem-limite deve ser regular. Para isso, deve satisfazer duas condições: (i) Deve ser escrita como somas e/ou concatenações de expressões regulares; (ii) Deve ser finita.

Apesar de alguns ACs apresentarem GPs com crescimento simples, essa não é a regra geral. A seguir aplicamos as técnicas expostas nesta seção para a regra 178 do espaço dos ACEs para a qual foram detectados padrões de crescimento em seus GPs.

3. Inferência de um atrator da regra 178

A função local f_{178} da regra 178 é dada por: $f_{178}(x, y, z) = 1$, se $(x, y, z) \in \{(1, 1, 1), (1, 0, 1), (1, 0, 0), (0, 0, 1)\}$; e $f_{178}(x, y, z) = 0$, caso contrário.

Apesar dos GPs da regra 178 apresentarem crescimento linear, não foi possível obter uma expressão regular geral que descreva seu comportamento em tempo finito, devido a limitações computacionais. A fim de analisar os atratores dessa regra, excluíram-se cadeias progressivamente maiores de 0s e de 1s (separadamente) e ao fim ambos os resultados foram agregados. Abaixo enunciamos (sem demonstração) resultados utilizados para a análise do comportamento da regra 178.

Proposição 3.1. Seja $c \in \{0, 1\}^{\mathbb{Z}}$ uma configuração na qual a maior cadeia de 0s (respectivamente 1s) consecutivos apresenta tamanho $l \geq 3$. Então $F_{178}(c)$ é uma configuração na qual a maior cadeia de 0s (respectivamente 1s) consecutivos apresenta tamanho $l - 2$.

Proposição 3.2. Para todo inteiro $n > 3$, $\Omega_{178, [0^n]}^{n-2} \subseteq \Omega_{178, [0^3]}^1$ e $\Omega_{178, [1^n]}^{n-2} \subseteq \Omega_{178, [1^3]}^1$.

Corolário 3.1. Para quaisquer inteiros $n > 3$ e $t \geq 1$, $\Omega_{178, [0^n]}^{(n-2)+t-1} \subseteq \Omega_{178, [0^3]}^t$ e $\Omega_{178, [1^n]}^{(n-2)+t-1} \subseteq \Omega_{178, [1^3]}^t$.

Corolário 3.2. Para todo inteiro $n > 3$, $\Omega_{178, [0^n]} = \Omega_{178, [0^3]}$ e $\Omega_{178, [1^n]} = \Omega_{178, [1^3]}$.

Em outras palavras, a regra 178 faz com que, após um número suficiente de iterações, configurações iniciais que contenham cadeias de 0s (e de 1s) consecutivos de tamanho maior que três sejam transformadas em configurações que não apresentam as subcadeias “000” nem “111”.

Vale notar que a análise de $\Omega_{178, [0^3]}$ e $\Omega_{178, [1^3]}$ cobre apenas parcialmente o conjunto-limite da regra 178: apenas as configurações obtidas a partir de configurações iniciais que não pertencem a $\Omega_{178, [0^\infty]}^0 \cup \Omega_{178, [1^\infty]}^0$. Para cada tipo de exclusão, foi realizada uma análise do crescimento das expressões regulares, com o intuito de obter expressões gerais para um número arbitrário t de iterações. Então, a partir dessas expressões, foram inferidas linguagens-limite descrevendo os atratores para ambos os tipos de exclusão. Por fim, as expressões regulares inferidas foram somadas, obtendo a expressão regular que descreve o atrator da regra 178 obtido a partir do conjunto $\Omega_{178, [0^\infty]} \cup \Omega_{178, [1^\infty]}$. A Figura 1 mostra o autômato finito determinístico que descreve esse atrator.

4. Conclusões

No presente trabalho apresentou-se uma técnica para inferir atratores do conjunto-limite de autômatos celulares elementares através da análise do crescimento das expressões regulares que descrevem conjuntos de configurações obtidas a partir de um número finito

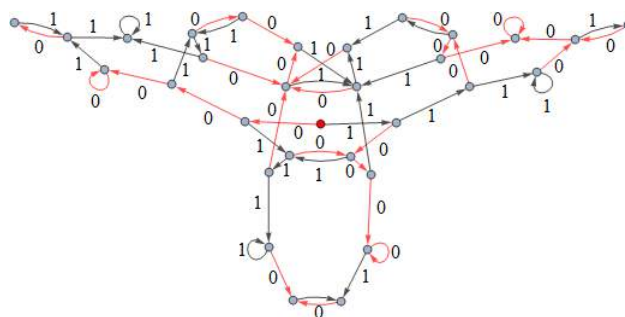


Figura 1. Autômato finito determinístico descrevendo um atrator da regra 178.

de iterações da regra do ACE sobre um subconjunto de configurações. Em particular, aplicou-se essa técnica para obter um atrator para a regra 178, para a qual não foi possível observar a existência ou não de padrões de crescimento devido a limitações computacionais. Para solucionar parcialmente tal situação, restringiu-se o conjunto de configurações iniciais, gerando conjuntos de expressões regulares para as quais foi possível obter uma descrição geral de seu padrão de crescimento, o que permitiu a inferência do autômato finito que descreve o atrator gerado por esse subconjunto de configurações iniciais.

Uma análise de como subconjuntos específicos de configurações iniciais podem afetar a dinâmica do crescimento dos grafos de processo e de sua complexidade é uma possibilidade interessante para a continuidade deste trabalho.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao MackPesquisa (Fundo Mackenzie de Pesquisa) e ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico).

Referências

- Cook, M. (2004). Universality in elementary cellular automata. *Complex Systems*, 15(1):1–40.
- De Oliveira, P. P. B., Ruivo, E. L. P., Costa, W. L., Miki, F. T. e Trafaniuc, V. V. (2016). Advances in the study of elementary cellular automata regular language complexity. *Complexity*, 21(6):267–279.
- Di Lena, P. e Margara, L. (2010). On the undecidability of the limit behavior of cellular automata. *Theoretical Computer Science*, 411(7):1075–1084.
- Kari, J. (2005). Theory of cellular automata: A survey. *Theoretical Computer Science*, 334(1–3):3–33.
- Ruivo, E. L. P. e de Oliveira, P. P. B. (2017). Inferring the limit behaviour of some elementary cellular automata. *Manuscrito não publicado submetido ao International Journal of Bifurcation and Chaos*.
- Santé, I., García, A. M., Miranda, D. e Crecente, R. (2010). Cellular automata models for the simulation of real-world urban processes: A review and analysis. *Landscape and Urban Planning*, 96(2):108–122.
- Wolfram, S. (1994). *Cellular Automata and Complexity*. Addison-Wesley Publishing Co.
- Wolfram, S. (2002). *A New Kind of Science*. Wolfram Media.

Grafos Half Cut

Rubens A. Sucupira¹, Sulamita Klein², Luerbio Faria¹

¹Instituto de Matemática e Estatística – Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ)

²COPPE Sistemas – Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

Abstract. [Erdős 1965] showed that every graph $G = (V, E)$ with m edges admits an edge cut of size at least $\frac{m}{2}$. In this paper we define a new graph class: *Half Cut graphs*. A graph is *Half Cut* if it admits an edge cut with exactly $\lceil \frac{m}{2} \rceil$ edges. We also give some simple examples such as paths, cycles and complete graphs that must satisfy special conditions to be *Half Cut* graphs.

Resumo. [Erdős 1965] mostrou que todo grafo $G = (V, E)$ com m arestas admite um corte de arestas com cardinalidade pelo menos $\frac{m}{2}$. Neste artigo definimos a classe de grafos *Half Cut* como os grafos que admitem um corte de arestas com cardinalidade igual a $\lceil \frac{m}{2} \rceil$. Nós também damos exemplos de grafos tais como caminhos, ciclos e grafos completos que devem satisfazer condições especiais para que sejam do tipo *Half Cut*.

1. Definições e Exemplos

Dados um grafo $G = (V, E)$ com n vértices e m arestas, e um subconjunto não vazio próprio $S \subset V$, definimos o *corte de arestas* ∂S como o conjunto formado por todas as arestas com exatamente um extremo em S . Dizemos que um corte de arestas ∂S tal que $|\partial S| = \lceil \frac{m}{2} \rceil$ é um *half cut*. Um grafo $G = (V, E)$ é do tipo *Half Cut* se admite um *half cut*.

Um exemplo trivial de grafo *Half Cut* é o grafo completo K_3 no qual todo corte de arestas tem cardinalidade $2 = \lceil \frac{3}{2} \rceil$. Outro exemplo simples da classe dos grafos completos é K_4 que tem 6 arestas e admite um *half cut* tomando-se $S = \{v\}$ para qualquer $v \in V$, já que $d(v) = 3$ para todo $v \in V(K_4)$.

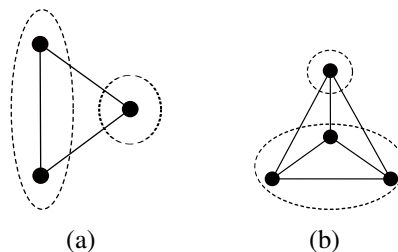


Figura 1. (a) Half cut de K_3 e (b) Half cut de K_4 .

Na próxima seção mostramos que todo caminho $P_n = (v_0, v_1, \dots, v_{n-1})$ é do tipo *Half Cut* e que um ciclo C_n com $n > 3$ é do tipo *Half Cut* se e somente se $n \equiv 0 \pmod{4}$ ou $n \equiv 3 \pmod{4}$.

2. Caminhos, Ciclos e Árvores

Teorema 2.1. *Todo caminho é do tipo Half Cut.*

Demonstração. Seja $P_n = (v_0, v_1, \dots, v_{n-1})$ um caminho com n vértices e $n - 1$ arestas. Temos dois casos a considerar: No primeiro caso, $n \equiv 2, 3(\text{mod } 4)$, basta tomarmos $S = \{v_i | i \equiv 0(\text{mod } 2); 0 \leq i \leq \lfloor \frac{n-2}{2} \rfloor\}$ para obtermos um half cut. No segundo caso, $n \equiv 0, 1(\text{mod } 4)$, e podemos tomar $S = \{v_i | i \equiv 1(\text{mod } 2); 1 \leq i \leq \lfloor \frac{n-2}{2} \rfloor\}$ para obtermos tal corte. As Figuras 2 e 3 ilustram esses dois casos.

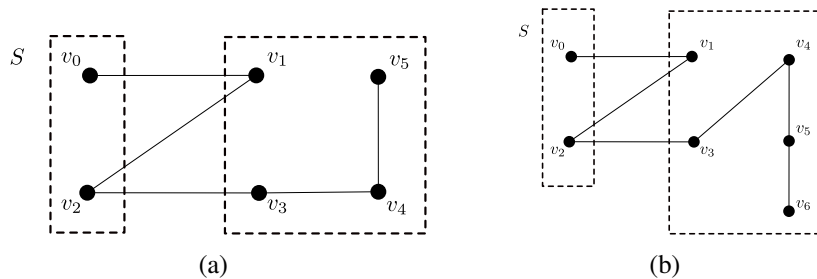


Figura 2. (a) Half cut de P_6 e (b) Half cut de P_7 .

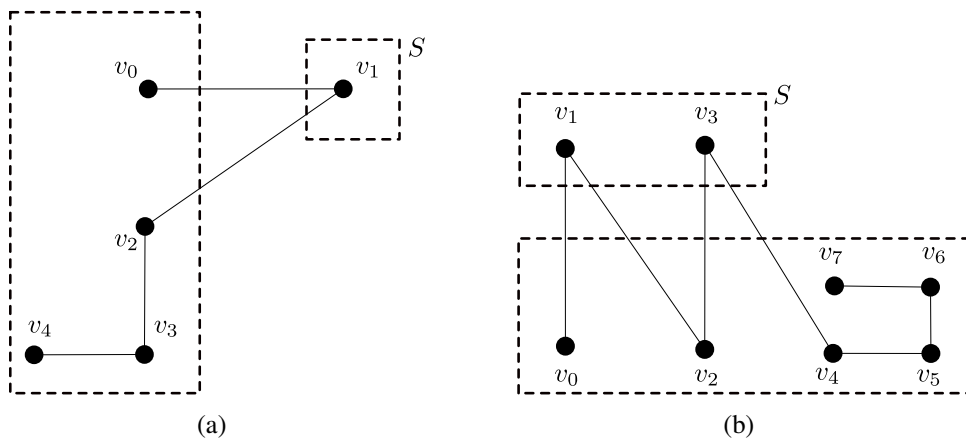


Figura 3. (a) Half cut de P_5 e (b) Half cut de P_8 .

□

Teorema 2.2. *Um ciclo C_n é do tipo Half Cut se e somente se $n \equiv 0(\text{mod } 4)$ ou $n \equiv 3(\text{mod } 4)$.*

Demonstração. Seja $C_n = (v_1, v_2, \dots, v_n, v_1)$ um ciclo com $n > 3$. Inicialmente podemos observar que todo corte de arestas em um ciclo tem cardinalidade par, já que o ciclo é um caminho fechado. Portanto se $\lfloor \frac{n}{2} \rfloor$ é ímpar, não existe nenhum corte de arestas de C_n com metade das arestas do ciclo, ou seja, para que o problema da determinação do Half Cut tenha solução, é necessário que $\lfloor \frac{n}{2} \rfloor$ seja par. Temos dois casos a considerar: $n \equiv 0(\text{mod } 4)$ e $n \equiv 3(\text{mod } 4)$. Se $n \equiv 0(\text{mod } 4)$, basta tomarmos $S = \{v_i | i \equiv 2, 3(\text{mod } 4)\}$ para obtermos um half cut, já que cada um desses vértices corresponde a uma aresta de corte. Observando que as sequências $(4i + 2)$ e $(4i + 3)$ para

$0 \leq i \leq \frac{n}{4} - 1$ são duas progressões aritméticas, ambas com o mesmo número de termos $\frac{n}{4}$, obteremos um corte com $\frac{n}{2}$ arestas.

Se $n \equiv 3(\text{mod } 4)$, vamos analisar a paridade de $\lceil \frac{n}{4} \rceil$ obtendo dois subcasos a considerar. Caso $\lceil \frac{n}{4} \rceil$ seja par, podemos tomar $S = \{v_i | i \equiv 2, 3(\text{mod } 4)\}$ e caso $\lceil \frac{n}{4} \rceil$ seja ímpar, tomamos $S = \{v_i | i \equiv 2, 3(\text{mod } 4), 1 \leq i \leq \frac{n+1}{2}\} \cup \{v_i | i \equiv 1, 2(\text{mod } 4), \frac{n+1}{2} \leq i \leq n-1\}$. \square

Teorema 2.3. *Toda árvore é do tipo Half Cut.*

Demonstração. Aplicamos indução forte sobre o número de arestas da árvore. Para uma árvore com uma aresta temos um caminho P_2 e segue imediatamente do Teorema 2.1 o resultado. Suponhamos que toda árvore com m arestas, sendo $1 \leq m \leq k$ é do tipo Half Cut. Dada uma árvore T com $k+1$ arestas, a remoção de uma aresta qualquer de T desconecta esse grafo dando origem a pelo menos duas componentes conexas que são subárvores de T . Sem perda de generalidade, suponhamos que a remoção da aresta $e = \{u, v\} \in E(T)$ dá origem às árvores T_1 e T_2 , com m_1 e m_2 arestas, respectivamente, sendo $u \in V(T_1)$ e $v \in V(T_2)$. Se o número de arestas de T , dado por $m = m_1 + m_2 + 1$ for par, então $m_1 + m_2$ é ímpar, ou seja, uma das subárvores tem um número par de arestas, enquanto a outra tem número ímpar. Digamos que m_1 seja par e m_2 seja ímpar. Pela hipótese de indução existem cortes de arestas de T_1 e de T_2 com cardinalidades $\frac{m_1}{2}$ e $\frac{m_2+1}{2}$, respectivamente. Logo basta tomarmos $S \subset V$ tal que $u \in S$ e $v \in S$ e teremos um corte de arestas com $\frac{m_1+m_2+1}{2}$ arestas, ou seja, $\frac{m}{2}$ arestas como desejado. Se m é ímpar, então m_1 e m_2 são ambos pares ou ambos ímpares. Caso sejam ambos ímpares, pela hipótese de indução existem cortes de T_1 e T_2 com $\frac{m_1+1}{2}$ e $\frac{m_2+1}{2}$ arestas, respectivamente. Novamente fazendo $u \in S$ e $v \in S$ e teremos um corte de arestas com $\frac{m_1+m_2+2}{2}$ arestas, ou seja, $\frac{m+1}{2} = \lceil \frac{m}{2} \rceil$ arestas. Caso sejam ambos pares, pela hipótese de indução existem cortes de T_1 e T_2 com $\frac{m_1}{2}$ e $\frac{m_2}{2}$ arestas, respectivamente. Posicionando apenas um dos vértices u ou v em S , obtemos um corte de arestas com $\frac{m_1+m_2}{2} + 1$ arestas, isto é, $\frac{m_1+m_2+2}{2}$ arestas, o que conclui a demonstração. \square

3. Grafos Completos do tipo Half Cut

Sabemos que em um grafo completo com n vértices, um corte de arestas ∂S tem cardinalidade dada por $|S| \cdot (n - |S|)$. A partir desse fato podemos determinar condições necessárias e suficientes para que um grafo completo seja do tipo Half Cut.

Em um grafo completo com n vértices, sabemos que $m = \frac{n(n-1)}{2}$, isto é, um half cut deverá ter $\lceil \frac{n(n-1)}{4} \rceil$ arestas. Desse modo, precisamos resolver a equação $p(n-p) = \lceil \frac{n(n-1)}{4} \rceil$ na qual $p = |S|$, para determinarmos um half cut, caso exista. Analisando os casos $n \equiv 0(\text{mod } 4)$, $n \equiv 1(\text{mod } 4)$, $n \equiv 2(\text{mod } 4)$ e $n \equiv 3(\text{mod } 4)$, chegamos à conclusão que existe um half cut se, e somente se, existe um natural q tal que $n = q^2$ ou $n = q^2 + 2$. Obtemos assim o teorema a seguir.

Teorema 3.1. *O grafo completo K_n é do tipo Half Cut se e somente se $n = q^2$ ou $n = q^2 + 2$.*

Demonstração. De fato, se $n \equiv 0(\text{mod } 4)$ ou $n \equiv 1(\text{mod } 4)$, então $\frac{n(n-1)}{4}$ é inteiro e podemos resolver diretamente a equação $p(n-p) = \frac{n(n-1)}{4}$, obtendo como soluções

$p = \frac{n+\sqrt{n}}{2}$ e $p = \frac{n-\sqrt{n}}{2}$ que só têm sentido se n for quadrado perfeito, já que p é inteiro positivo. Se $n \equiv 2 \pmod{4}$, então $n = 4k + 2$ para algum natural k e assim temos $\lceil \frac{n(n-1)}{4} \rceil = 4k^2 + 3k + 1$. Resolvendo a equação associada obtemos as soluções $p = (2k + 1) + \sqrt{k}$ e $p = (2k + 1) - \sqrt{k}$ que só têm sentido quando k é um quadrado perfeito. Desse modo devemos ter $n = 4q^2 + 2$, sendo $k = q^2$. Se $n \equiv 3 \pmod{4}$, então $n = 4k + 3$ para algum natural k e assim temos $\lceil \frac{n(n-1)}{4} \rceil = 4k^2 + 5k + 2$. Resolvendo a equação associada obtemos as soluções $p = \frac{n+\sqrt{4k+1}}{2}$ e $p = \frac{n-\sqrt{4k+1}}{2}$ que só têm sentido quando $4k + 1 = n - 2$ é um quadrado perfeito. Desse modo, devemos ter $n - 2 = q^2$, ou seja, $n = q^2 + 2$. Portanto um grafo completo K_n é do tipo Half Cut se e somente se $n = q^2$ ou $n = q^2 + 2$. \square

4. Grafos Graciosos

Uma rotulação graciosa de um grafo $G = (V, E)$ é composta por uma rotulação dos vértices $f : V \rightarrow \{0, 1, \dots, m\}$ e uma rotulação das arestas $f_\gamma : E \rightarrow \{1, 2, \dots, m\}$ definida por $f_\gamma(\{u, v\}) = |f(u) - f(v)|$ ambas injetivas. Se G admite uma rotulação graciosa, então G é dito um *grafo gracioso*. [Golomb 1972] provou que todo grafo gracioso é do tipo Half Cut. A seguir apresentamos a demonstração desse fato devida a ele.

Teorema 4.1. *Todo grafo gracioso é do tipo Half Cut.*

Demonstração. Seja $G = (V, E)$ um grafo gracioso com uma rotulação f . Considere $S = \{u \in V | f(u) \equiv 0 \pmod{2}\}$. Como existem $\lceil \frac{m}{2} \rceil$ inteiros ímpares entre 1 e m , e uma diferença ímpar só é possível efetuando-se uma subtração entre um inteiro par e um ímpar, então o número de arestas conectando vértices com paridades distintas é exatamente $\lceil \frac{m}{2} \rceil$. \square

[Rosa 1966] provou que todo caminho P_n e os ciclos C_n com $n \equiv 0 \pmod{4}$ ou $n \equiv 3 \pmod{4}$ são grafos graciosos. Desse modo, os resultados obtidos na Seção 2 poderiam ter sido encontrados como consequência do Teorema 4.1. Grandes esforços têm sido feitos na tentativa de provar a conjectura de Ringel-Kotzig [Huang et al. 1982] a qual afirma que todas as árvores são graciosas. Nesse artigo fornecemos processos algorítmicos para a determinação dos half cuts em classes simples de grafos e, além disso, mostramos que a classe dos grafos graciosos está estritamente contida na classe dos grafos Half Cut, pois há vários grafos Half Cut que não são graciosos, como por exemplo, os grafos completos K_n com $n = q^2$, sendo $q > 2$.

Referências

- Erdős, P. (1965). On some extremal problems in graph theory. *Israel Journal of Mathematics*, 3:113–116.
- Golomb, S. W. (1972). How to number a graph. *Graph theory and computing*, pages 23–37.
- Huang, C., Kotzig, A., and Rosa, A. (1982). Further results on tree labellings. *Util. math.*, 21c, pages 31–48.
- Rosa, A. (1966). On certain valuations of the vertices of a graph. In *Theory of Graphs (Internat. Symposium, Rome)*, pages 349–355.

Tight bounds for gap-labellings

C. A. Weffort-Santos¹, C. N. Campos¹, R. C. S. Schouery¹

¹Institute of Computing - University of Campinas (UNICAMP)
Av. Albert Einstein, 1251 – 13083-852 – Campinas – SP – Brazil

celso.santos@students.ic.unicamp.br, {campos, rafael}@ic.unicamp.br

Abstract. An ordered pair (π, c_π) is said to be a gap- $[k]$ -edge-labelling (gap- $[k]$ -vertex-labelling) if π is an edge-labelling (vertex-labelling) on the set $\{1, \dots, k\}$, and c_π is a proper vertex-colouring induced by a gap-function based on π . Gap- $[k]$ -edge-labellings and gap- $[k]$ -vertex-labellings were first introduced by M. Tahraoui et al. [7] and A. Dehghan et al. [2], respectively. The edge-gap number (vertex-gap number) is the least k for which there exists a gap- $[k]$ -edge-labelling (gap- $[k]$ -vertex-labelling) of a graph. In this work, we study the edge-gap number, χ_E^g , and the vertex-gap number, χ_V^g , of cycles, crowns and wheels.

1. Introduction

Let G be a simple, finite and undirected graph with vertex set $V(G)$ and edge set $E(G)$. An edge $e \in E(G)$ with ends $u, v \in V(G)$ is denoted by uv . The degree of a vertex $v \in V(G)$ is denoted by $d(v)$ and the minimum degree of G , by $\delta(G)$. The set of edges incident with v is denoted by $E(v)$ and its neighbourhood, by $N(v)$.

For a set \mathcal{C} of colours, a (proper vertex-)colouring of G is a mapping $c : V(G) \rightarrow \mathcal{C}$, such that $c(u) \neq c(v)$ for every pair of adjacent vertices $u, v \in V(G)$. If $|\mathcal{C}| = k$, mapping c is called a k -colouring. The chromatic number, $\chi(G)$, is the least number k for which G admits a k -colouring. For $S = E(G)$ or $S = V(G)$ and a set of labels $[k] = \{1, \dots, k\}$, a labelling π of G is a mapping $\pi : S \rightarrow [k]$. For $S' \subseteq S$, the gap function, $\text{gap}(\pi, S')$, is defined as: 1, if $S' = \emptyset$; $\pi(s)$, if $S' = \{s\}$; or $\max_{s \in S'} \{\pi(s)\} - \min_{s \in S'} \{\pi(s)\}$, if $|S'| \geq 2$. A gap- $[k]$ -edge-labelling of G is an ordered pair (π, c_π) such that $\pi : E(G) \rightarrow [k]$ is a labelling of G and $c_\pi : V(G) \rightarrow \mathcal{C}$, a colouring of G defined as $c_\pi(v) = \text{gap}(\pi, E(v))$. The least k for which G admits a gap- $[k]$ -edge-labelling, $\chi_E^g(G)$, is called edge-gap number. A gap- $[k]$ -vertex-labelling of G is defined similarly, with $\pi : V(G) \rightarrow [k]$, and $c_\pi(v) = \text{gap}(\pi, N(v))$. The least k for which G admits a gap- $[k]$ -vertex-labelling, $\chi_V^g(G)$, is called vertex-gap number. An interesting remark is that all K_2 -free graphs admit a gap- $[k]$ -edge-labelling for some k , while there are graphs for which there is no gap- $[k]$ -vertex-labelling, for any k [7]. For instance, complete graphs K_n , $n \geq 4$, do not admit such a labelling.

Most researchers date the labelling of graphs using mathematical operations back to 1967, when it was introduced by A. Rosa [3, 4]. Since then, several variants of labellings have been created and studied. Gap- $[k]$ -edge-labellings, introduced in 2012 by M. Tahraoui et al. [7] as a variant of gap- k -colourings, were investigated by R. Scheidweiler and E. Triesch [5, 6], and A. Brandt et al. [1]. The latter proved that $\chi(G) \leq \chi_E^g(G) \leq \chi(G) + 1$ for all graphs except stars. They also determined the edge-gap number for complete graphs, cycles and trees. The vertex variant was first introduced in 2013 by A. Dehghan et al. [2], who proved that deciding whether a graph admits a gap- $[k]$ -vertex-labelling is NP-complete for several classes of graphs. These findings inspired us to further research the properties of these labellings. In this work,

we study the edge-gap and vertex-gap numbers for three classes of graphs: cycles, crowns and wheels, and compare these parameters.

2. Results

We start by considering cycle graphs C_n , which are 2-regular, connected, simple graphs. Let $V(C_n) = \{v_0, \dots, v_{n-1}\}$ and $E(C_n) = \{v_i v_{i+1}\}, 0 \leq i < n$. For C_3 , $\chi_V^g(C_3) = \chi_E^g(C_3) = 4$. For $n \geq 4$, the vertex-gap number is established in the next theorem.

Theorem 1. *Let $G \cong C_n, n \geq 4$. Then, $\chi_V^g(G) = 2$, if $n \equiv 0 \pmod{4}$, and $\chi_V^g(G) = 3$, otherwise.*

Outline of the proof. Let $G = C_n, n \geq 4$. Since $\delta(G) \geq 2, \chi_V^g(G) \geq \chi(G)$. It is well-known that $\chi(G) = 2$ if n is even, and $\chi(G) = 3$, otherwise. By induction on n , we show that $\chi_V^g(G) \leq 3$.

We prove that G admits a gap-[3]-vertex-labelling (π, c_π) with labels $(\pi(v_{n-2}), \pi(v_{n-1}), \pi(v_0))$ and colours $(c_\pi(v_{n-2}), c_\pi(v_{n-1}), c_\pi(v_0))$ satisfying one of the following conditions: (i) (1, 2, 1) and (1, 0, 1); (ii) (2, 3, 2) and (2, 0, 2); (iii) (3, 1, 3) and (1, 0, 1); or (iv) (1, 1, 1) and (2, 0, 2).

For C_4 and C_5 , assign labels (1, 3, 1, 2) and (1, 3, 1, 1, 2) to vertices (v_0, \dots, v_{n-1}) , respectively, satisfying condition (i). Now, let (π, c_π) be a gap-[3]-vertex-labelling for $C_n, n \geq 4$, satisfying one of the above conditions. We create cycle C_{n+2} by replacing vertex v_{n-1} with a P_3 , and labelling the new vertices so that if C_n satisfies condition $l, l \in \{(i), (ii), (iii), (iv)\}$, then C_{n+2} satisfies the next condition in the cyclic order ((i), (ii), (iii), (iv)). We remark that all operations on the indices are taken modulo n . Figure 1 exemplifies this construction.

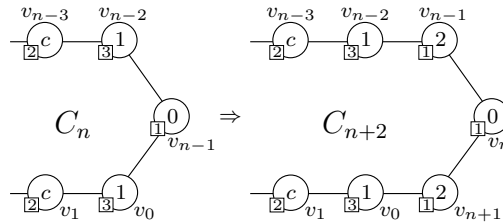


Figure 1. Cycle C_n satisfies condition (iii). We assign labels to the vertices of C_{n+2} so as to satisfy condition (iv)

Now, we prove that only $C_n, n \equiv 0 \pmod{4}$ admits a gap-[2]-vertex-labelling. Let (π, c_π) be a gap-[2]-vertex-labelling of C_n . Adjust notation so that $c_\pi(v_i) = 0$, if $i \equiv 0 \pmod{2}$, and $c_\pi(v_i) = 1$, otherwise. This implies that every vertex v_i with odd index has the same label a , for $a \in \{1, 2\}$, and also $\{\pi(v_{i-1}), \pi(v_{i+1})\} = \{1, 2\}$. Let $j \equiv 1 \pmod{2}$. Each sequence of four vertices $(v_{j-1}, v_j, v_{j+1}, v_{j+2})$ has labels (a, a, b, a) or (b, a, a, a) , for $\{a, b\} = \{1, 2\}$. Moreover, the distance between any two consecutive vertices $u, v \in V(C_n)$ with label b is exactly four. Without loss of generality, consider the sequence (a, a, b, a) starting at v_0 and repeating itself along the cycle. If $n \equiv 2 \pmod{4}$, then $c_\pi(v_{n-1}) = c_\pi(v_0) = 0$ and, therefore, c_π is not a colouring of G . Thus, there is no gap-[2]-vertex-labelling of G in this case. For $n \equiv 0 \pmod{4}$, any assignment of values $\{a, b\} = \{1, 2\}$ using one of the sequences (a, a, b, a) or (b, a, a, a) produces a gap-[2]-vertex-labelling for C_n , and the result follows. \square

In 2016, A. Brandt et al. [1] showed that $\chi_E^g(C_n) = 2$ if $n \equiv 0 \pmod{4}$, and $\chi_E^g(C_n) = 3$, otherwise. Their proof is shorter, although with some common points. As we have been

observing, gap- $[k]$ -edge-labellings allow an analysis in a more restricted neighbourhood, which helps to limit the number of cases under consideration.

Next, we study crown graphs. A *crown* R_n , $n \geq 3$, is the graph obtained from C_n and n copies of K_2 , by identifying each vertex of C_n with one vertex of a different copy of a K_2 . Figure 2 illustrates the crown R_8 . The values of $\chi_E^g(R_n)$ and $\chi_V^g(R_n)$ are established in Theorem 2.

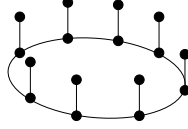


Figure 2. The crown R_8

Theorem 2. Let $G \cong R_n$, $n \geq 3$. Then, $\chi_E^g(G) = \chi_V^g(G) = \chi(C_n)$.

Proof. Let $G = R_n$, with $V(G) = \{v_0, \dots, v_{n-1}\} \cup \{u_0, \dots, u_{n-1}\}$, $d(v_i) = 3$ and $d(u_i) = 1$, $0 \leq i < n$. First, we show that $\chi_E^g(G) \geq \chi(C_n)$. Note that $\chi_E^g(G) \geq 2$ since G has adjacent vertices of same degree. However, if n is odd, $\chi_E^g(G) \geq 3$ since it is not possible to have colour 2 in a vertex of degree three in any gap- $[2]$ -edge-labelling of G .

Let $\pi(v_i v_{i+1}) = 1$, $0 \leq i < n$, and $\pi(v_i u_i) = 1 + (i \bmod 2)$, $0 \leq i < n - (n \bmod 2)$. If n is odd, let $\pi(v_{n-1} u_{n-1}) = 3$. Observe that $c_\pi(u_i) = \pi(v_i u_i)$ for all u_i , $c_\pi(v_i) = i \bmod 2$, for $i \in [0, n - (n \bmod 2)]$, and $c_\pi(v_{n-1}) = 2$, when n is odd. Therefore, (π, c_π) is a gap- $[\chi(C_n)]$ -edge-labelling, and we conclude that $\chi_E^g(G) = \chi(C_n)$.

Now, we prove that $\chi_V^g(G) = \chi(C_n)$. As in the previous case, $\chi_V^g(G) \geq \chi(C_n)$. In order to conclude the proof, it is sufficient to construct a gap- $[\chi(C_n)]$ -vertex-labelling for G . Let $\pi(v_i) = \chi(R_n)$, $0 \leq i < n$, and $\pi(u_i) = 1 + (i \bmod 2)$, $0 \leq i < n - (n \bmod 2)$. If n is odd, let $\pi(u_{n-1}) = 3$. The result follows from the fact that $c_\pi(u_i) = \pi(v_i) = \chi(R_n)$ for all u_i , $c_\pi(v_i) = \chi(R_n) - 1 - (i \bmod 2)$, and $c_\pi(v_{n-1}) = 0$, when n is odd. \square

The last class considered is the wheel graphs. A *wheel* W_n , $n \geq 3$ is the graph obtained from R_n by identifying all degree-one vertices. In the next theorem we determine $\chi_E^g(W_n)$.

Theorem 3. Let $G \cong W_n$, $n \geq 3$. Then, $\chi_E^g(G) = 3$, if n is even and $n \neq 4$, and $\chi_E^g(G) = 4$, otherwise.

Proof. Let $G = W_n$, $n \geq 3$. Since $\delta(G) \geq 2$, $\chi_E^g(G) \geq \chi(G) = \chi(C_n) + 1$. Consider, first, the case where n is even. Assign label 2 to edges $v_i v_{i+1}$, $0 \leq i < n$. Following the order of the indices, assign labels 2, 1, alternately, to edges $v_i v_n$, $0 \leq i < n - 1$. Assign label 3 to the remaining edge $v_{n-1} v_n$. Observe that $c_\pi(v_i) = i \bmod 2$, $0 \leq i < n$, and $c_\pi(v_n) = 2$. We conclude that (π, c_π) is a gap- $[3]$ -edge-labelling of G .

Now take $n = 3$. Since $G \cong K_4$, $\chi_E^g(G) = \chi_E^g(K_4) = 4$, as shown by A. Brandt et al. [1]. Finally, suppose $n \geq 5$ and odd. Assign labels 2, 3, alternately, to the edges $v_i v_{i+1}$, $1 \leq i \leq n - 3$; labels 1, 2 to the edges $v_i v_n$, $0 \leq i \leq n - 3$; and labels 3, 1, 1, 4, 1 to the edges $v_{n-2} v_{n-1}$, $v_{n-1} v_0$, $v_0 v_1$, $v_{n-2} v_n$, $v_{n-1} v_n$, respectively. In order to see that (π, c_π) is a gap- $[4]$ -edge-labelling, note that $c_\pi(v_i) = 2 - (i \bmod 2)$, $1 \leq i \leq n - 1$, $c_\pi(v_0) = 0$ and $c_\pi(v_n) = 3$. This concludes the proof. \square

Finally, consider the gap- $[k]$ -vertex-labelling of wheels. As previously stated, the graph $W_3 \cong K_4$ does not admit a gap- $[k]$ -vertex-labelling for any k . It remains to consider $\chi_V^g(W_n)$ for $n \geq 4$, which is established in the next theorem.

Theorem 4. *Let $G \cong W_n$, $n \geq 4$. Then, $\chi_V^g(G) = 3$, if n is even and $n \geq 8$, and $\chi_V^g(G) = 4$, otherwise.*

Proof. Let $G = W_n$, $n \geq 4$, with $V(W_n) = \{v_0, \dots, v_n\}$ and $d(v_n) = n - 1$. Since $\delta(G) \geq 2$, $\chi_V^g(G) \geq \chi(G) = \chi(C_n) + 1$. For $n = 4$, assign labels 4, 1, 4, 1, 3 to vertices v_0, \dots, v_4 , respectively, obtaining a gap- $[4]$ -vertex-labelling of W_4 . Now, for $n \geq 5$, assign label 2 to vertices v_0, v_1, v_2 and v_n . Assign labels 4, 1, alternately, to the remaining vertices v_i , $3 \leq i < n$. Note that $c_\pi(v_i) = 2 - (i \bmod 2)$, $2 \leq i < n$, $c_\pi(v_0) = 2 - (n \bmod 2)$, $c_\pi(v_1) = 0$, and $c_\pi(v_n) = 3$. This is a gap- $[4]$ -vertex-labelling of G , and the result follows.

Now, consider the case $n \geq 8$, $n \equiv 0 \pmod{2}$. Assign labels 2, 1, alternately, to vertices v_i , $0 \leq i \leq n - 6$. Assign label 3 to vertex v_{n-3} . Assign label 2 to the remaining vertices $v_{n-5}, v_{n-4}, v_{n-2}, v_{n-1}, v_n$. Note that $c_\pi(v_i) = 1 + (i \bmod 2)$, $0 \leq i < n$, and $c_\pi(v_n) = 2$. Therefore, (π, c_π) is a gap- $[3]$ -vertex-labelling of G .

In order to complete the proof, it remains to consider the cases of $n = 4$ and $n = 6$. Since these are small cases, one can see, by inspection, that there are no gap- $[3]$ -vertex-labellings of W_4 or W_6 by considering the possible colours of v_n . \square

3. Concluding remarks

In this work, we studied $\chi_E^g(G)$ and $\chi_V^g(G)$ for cycles, crowns and wheels and observed that the edge-labelling variant is less restrictive than the vertex one. This occurs because a labelled edge only affects the colours of its endpoints, whereas a labelled vertex affects its entire neighbourhood. Moreover, for the classes considered in this work, it is possible to assign different labels to a certain edge, maintaining the resulting vertex colouring, whereas such a property is not true for gap- $[k]$ -vertex-labellings.

Acknowledgements

Partially supported by grant #2015/11937-9, São Paulo Research Foundation (FAPESP).

References

- [1] A. Brandt, B. Moran, K. Nepal, F. Pfender, D. Sigler, *Local gap coloring from edge labelings*, Australasian Journal of Combinatorics **65(3)** (2016), 200-211.
- [2] A. Dehghan, M.-R. Sadeghi and A. Ahad, *Algorithmic complexity of proper labeling problems*, Theoretical Computer Science **495** (2013), 25 - 36.
- [3] J. A. Gallian, *A dynamic survey of graph labeling*, The Electronic Journal of Combinatorics #DS6 (2016)
- [4] A. Rosa, *On certain valuations of the vertices of a graph*, Theory of Graphs (International Symposium) (1967), 394-355.
- [5] R. Scheidweiler, E. Triesch, *New estimates for the gap chromatic number*, SIAM Journal of Discrete Mathematics **328** (2014), 42-53.
- [6] R. Scheidweiler, E. Triesch, *Gap-neighbour-distinguishing colourings*, Journal of Combinatorial Mathematics and Combinatorial Computing, **94** (2015), 205-214.
- [7] M. A. Tahraoui, E. Duchene, H. Kheddouci, *Gap vertex-distinguishing edge colourings of graphs*, Discrete Mathematics **312** (20) (2012), 3011 - 3025.

Modelo Matemático para o Problema de Transporte Escolar em Zonas Rurais

Jean N. R. Araujo¹

¹Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica – UFMG

{jeannra}@ufmg.br

Abstract. *This paper presents a generic mathematical model for the School Bus Routing Problem (SBRP) in rural areas, in order to minimize the total cost involved end ensuring that students are transported timely. Factors such as vehicle capacity and time window of schools are observed in the model.*

Resumo. *Neste trabalho é apresentado um modelo matemático genérico para o Problema de Roteamento de Ônibus Escolares (PROE) em zonas rurais, com o objetivo de minimizar o custo total envolvido a fim de assegurar que os alunos sejam transportados em tempo. Fatores como capacidade do veículo e janela de tempo das escolas são observados no modelo.*

1. Introdução

Em pesquisa apresentada em [Bezerra et al. 2013], calcula-se que 36% da população brasileira é rural. Em [Lima et al. 2016], o autor diz que, em 2013, o Brasil tinha mais de 50 milhões de estudantes matriculados em um sistema educacional público complexo que abrange mais de 198 mil escolas públicas estaduais e municipais, onde 14% desses alunos são moradores de áreas rurais, servidos por escolas públicas multisseriadas (24% do número total de escolas). Nas escolas multisseriadas, grupos de estudantes de diferentes séries são educados por um único professor em uma única sala de aula.

Esforços tem sido empregados para transferir os estudantes de escolas rurais multisseriadas para escolas com localização central, com melhor infraestrutura e com classes de série única [Lima et al. 2016]. No entanto, tem sido um grande desafio para as autoridades públicas gerir os serviços de transporte escolar rural [Lima et al. 2016]. Como os recursos previstos são escassos, geralmente não é possível utilizar ônibus para transportar alunos de uma única escola [Park and Kim 2010].

O Problema de Roteamento de Ônibus Escolar (PROE) é um problema de transporte que tem sido alvo de pesquisas na área de otimização visando gerar rotas de ônibus escolares considerando um conjunto de estradas, escolas, paradas, alunos, veículos, e qualquer outro fator importante que se deseje considerar [Park and Kim 2010]. O presente trabalho objetiva criar um modelo matemático consistente e genérico considerando uma frota heterogênea de ônibus que precisam atender a zona rural de determinado município. Na abordagem utilizada os veículos poderão transportar alunos de escolas diferentes respeitando restrições como: capacidade do veículo, tempo máximo de estadia do aluno no transporte e janela de tempo das escolas.

2. Modelo Proposto

Considere um sistema de transporte escolar que atenda um conjunto de paradas $P = \{1, \dots, n_p\}$ que estão distribuídas na zona rural de determinado município em que existe um conjunto de Escolas $E = \{n_p + 1, \dots, n_p + n_e\}$. Esse problema pode ser representado por um grafo não direcionado $G = (V, A)$, onde $V = \{0\} \cup P \cup E$ é o conjunto de vértices mapeados que descreve o trajeto do ônibus saindo da garagem (vértice 0), percorrendo as paradas e a(s) escola(s). Logo, $A = \{(i, j) : i, j \in V\}$ é o conjunto de arestas que conectam tais vértices. Para cada parada $i \in P$, existe um conjunto $K_i \subseteq E$ de escolas que precisam ser atendidas, no qual $d_{ik} > 0$ estudantes da parada i deve(m) ser transportado(s) para a escola k . Todos os $q_i = \sum_{k \in K_i} d_{ik}$ alunos da parada i devem ser apanhados pelo mesmo ônibus, ao mesmo tempo, e transportados para as escolas em K_i [Alves et al. 2015, Sarubbi et al. 2014, Lima et al. 2016].

Considere B um conjunto de ônibus de diferentes capacidades estacionados na garagem. Cada ônibus $b \in B$ tem capacidade Q_b , custo fixo s_b , e distância máxima permitida de ρ_b . Assume-se que $Q_1 \leq Q_2 \leq \dots \leq Q_{|B|}$ e $s_1 \leq s_2 \leq \dots \leq s_{|B|}$. Cada aresta $(i, j) \in A$ tem um custo não negativo $c_{ij}^b = \theta_b \ell_{ij}$, e que depende do ônibus $b \in B$ que irá trafegar naquele trecho. Portanto, θ_b é o custo unitário por km para o ônibus b , e ℓ_{ij} é a distância da parada i para a parada ou escola j .

Seja R_b um subconjunto de arestas de A , o que denota um subgrafo $G'(R_b)$ que gera uma rota a ser percorrida pelo ônibus b partindo da garagem, pegando os estudantes nas paradas P_b , e distribuindo às escolas K_b , antes de retornar à garagem. Deste modo,

Tabela 1. Notação do método proposto

Conjuntos:	
P	: Conjunto de Paradas
P_b	: Conjunto de Paradas atreladas à um ônibus - $P_b \subseteq P$
E	: Conjunto de Escolas
B	: Conjunto de Ônibus
V	: Conjunto de Vértices [garagem, paradas e escola(s)]
A	: Conjunto de Arestas
K_i	: Conjunto de Escolas atreladas a uma parada - $K_i \subseteq E$
K_b	: Conjunto de Escolas atreladas a um ônibus - $K_b \subseteq E$
Q_b	: Conjunto de capacidades dos veículos
Parâmetros:	
d_{ik}	: N° de alunos da parada $i \in P$ que serão levados para a escola $k \in K_i$
q_i	: Qtd. de alunos da parada $i \in P$ pegos pelo mesmo ônibus, ao mesmo tempo
s_b	: Custo fixo do veículo $b \in B$
c_{ij}^b	: Custo não negativo de cada aresta $(i, j) \in A$ para o ônibus $b \in B$
θ_b	: Custo unitário por km para o ônibus b
ℓ_{ij}	: Distância da parada i para a parada ou escola j
ρ_b	: Distância máxima que dado ônibus pode percorrer com aluno
$[\alpha, \omega]$	: Janela de tempo entre primeiro vértice e último vértice de determinada rota
t_{ij}	: Tempo do percurso entre o vértice i e o vértice j
Variáveis:	
y_i^b	$= 1$:, se a parada $i \in V - \{0\}$ é atribuída ao ônibus $b \in B$. 0, caso contrário
z^b	$= 1$:, se o ônibus $b \in B$ está atribuído à uma rota; 0, caso contrário.
x_{ij}^b	$= 1$:, se a aresta $(i, j) \in A$ é usada na rota do ônibus $b \in B$; 0, caso contrário

$G'(V(R_b), R_b)$ é um subgrafo induzido por R_b , no qual $V(R_b)$ é o conjunto de vértices ligadas a no mínimo uma aresta de R_b . Ou seja, $G'(R_b)$ se configura um ciclo simples com início e fim no vértice 0 (garagem), de tal modo que a demanda total de estudantes nas paradas P_b não exceda a capacidade máxima Q_b de estudantes suportada pelo ônibus b . O custo da rota é dado pela soma dos custos das arestas que formam o ciclo, e pelo custo fixo do ônibus s_b .

Sendo $A = \{(i, j) : i, j \in V\}$ o conjunto de arestas, existe um tempo de percurso t_{ij} associado a aresta A_{ij} . Observando que há uma janela de tempo $[\alpha, \omega]$ associada a rota R_b de determinado veículo respeitando o início da aula em cada escola E , sendo α o horário de saída da garagem e ω o horário da escola com entrada mais tardia. É permitido que o veículo chegue ao último vértice antes de ω , no entanto, ele precisa esperar o tempo ω para deixar a localidade. O problema consiste então em projetar estas rotas de tal forma que todos os alunos sejam transportados para suas respectivas escolas a um custo total mínimo, onde cada parada é visitada apenas uma vez por qualquer ônibus.

Considere $y_i^b \in \{0, 1\}$ uma variável inteira igual a 1, se a parada $i \in V - \{0\}$ é atribuída ao ônibus $b \in B$; 0, caso contrário. Considere $z^b \in \{0, 1\}$ uma variável inteira igual a 1, se o ônibus $b \in B$ está atribuído à uma rota; 0, caso contrário. Considere $x_{ij}^b \in \{0, 1\}$ uma variável inteira igual a 1, se a aresta $(i, j) \in A$ é usada na rota do ônibus $b \in B$; 0, caso contrário. A notação usada neste trabalho é sintetizada na Tabela 1 e o modelo matemático de Programação Inteira para esse problema é formulado a seguir:

$$\text{Minimize } \sum_{b \in B} \left[s_b z^b + \sum_{(i,j) \in A} c_{ij}^b x_{ij}^b \right] \quad (1)$$

s.a.

$$\sum_{b \in B} y_i^b = 1 \quad \forall i \in P \quad (2)$$

$$\sum_{i \in P} q_i y_i^b \leq Q_b z^b \quad \forall b \in B \quad (3)$$

$$y_i^b \leq y_i^k \quad \forall i \in P, k \in K_i, b \in B \quad (4)$$

$$\sum_{(i,j) \in A} x_{ij}^b + \sum_{(j,i) \in A} x_{ji}^b = 2y_i^b \quad \forall j \in V - \{0\}, b \in B \quad (5)$$

$$\sum_{(0,j) \in A} x_{0j}^b = z^b \quad \forall b \in B \quad (6)$$

$$\sum_{(i,j) \in A: i \in P, j \in E} x_{ij}^b = z^b \quad \forall b \in B \quad (7)$$

A função objetivo (1) minimiza o custo total. A restrição em (2) garante que cada parada é atribuída a um ônibus. Em (3) busca-se garantir que a capacidade de cada ônibus não será excedida. A restrição descrita em (4) assegura que se uma parada é atribuída a um ônibus, as escolas associadas aos estudantes que aguardam nessa parada são também visitadas pelo mesmo ônibus. As restrições em (5) e (6) descrevem restrições de grau para as paradas visitadas por um ônibus, e para a garagem onde um ônibus está vinculado, respectivamente. A restrição em (7) impõe que apenas uma aresta conectando

uma parada à uma escola deverá ser usada sempre quando um ônibus é atribuído a uma rota, o que garante que o ônibus irá pegar todos os alunos atribuídos à ele antes de se dirigir às escolas.

$$\sum_{(i,j) \in A: i,j \in S} x_{ij}^b \leq \sum_{i \in S \setminus \{k\}} y_i^b \quad \forall b \in B, k \in S, S \subseteq V - \{0\} \quad (8)$$

$$\sum_{(i,j) \in A} \ell_{ij} x_{ij}^b \leq \rho_b \quad \forall j \in V - \{0\}, b \in B \quad (9)$$

$$\sum_{(i,j) \in A} t_{ij}^b x_{ij}^b + \alpha_b \leq \omega_b \quad \forall j \in V - \{0\}, b \in B \quad (10)$$

$$x_{ij}^b \in 0, 1 \quad \forall (i, j) \in A, b \in B \quad (11)$$

$$y_i^b \in 0, 1 \quad \forall i \in V - \{0\}, b \in B \quad (12)$$

$$z^b \in 0, 1 \quad \forall b \in B \quad (13)$$

A Eq. 8 garante que as paradas atribuídas a um ônibus são conectadas. A restrição endereçada pela Eq. 9 impede que os ônibus transportem alunos por uma distância superior a ρ_b . A Eq. 10 certifica que o tempo total do trajeto não supere o horário de entrada mais tardio. Finalmente, as Eqs. 11, 12 e 13 são restrições de domínio.

3. Conclusão

No cenário brasileiro, para este problema, existe a necessidade de adotar soluções que permitam transportar alunos de escolas diferentes ao mesmo tempo, bem como utilizar frota heterogênea que possibilite atender regiões densas e esparsas, observando a indispensabilidade de oferecer educação de qualidade a todas as regiões. Em relação ao métodos de resolução, tem sido desenvolvidas heurísticas e meta-heurísticas, que englobam algoritmos exatos e probabilísticos. Dentre as meta-heurísticas mais utilizadas destaca-se a Busca Tabu, os Algoritmos Evolucionários e as Redes Neurais. O modelo apresentado neste trabalho visa ser resolvido empregando algoritmos exatos para Programação Inteira como *Branch and Bound* e *Branch and Cut*. Espera-se obter resultados com garantia de otimalidade e com tempo computacional competitivo considerando esse problema em um município de grande densidade populacional nas zonas rurais.

Referências

- Alves, F. S. et al. (2015). Problemas de roteamento de veículos aplicados no planejamento logístico do transporte escolar da cidade de coxim-ms.
- Bezerra, M. L., Bacelar, T., Miranda, C. O. d. S., and Silva, H. O. d. S. (2013). Concepções da ruralidade contemporânea: as singularidades brasileiras.
- Lima, F. M. S., Pereira, D. S., Conceição, S. V., and Nunes, N. T. R. (2016). A mixed load capacitated rural school bus routing problem with heterogeneous fleet: algorithms for the brazilian context. *Expert Systems with Applications*, 56:320–334.
- Park, J. and Kim, B.-I. (2010). The school bus routing problem: A review. *European Journal of operational research*, 202(2):311–319.
- Sarubbi, J., Faraj, M., and Machry, F. (2014). Estudo de caso: o problema do transporte escolar rural em minas gerais. Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional.

Abordagens Heurísticas para o p -Cabo-Trincheira com Localização de Instalações *

Ulysses Rocha¹, Natanael Ramos¹, Lucas Melo¹, Marcelo Benedito¹,
André Silva¹, Rafael Cano¹, Flávio Miyazawa¹, Eduardo Xavier¹.

¹Instituto de Computação – Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)

{ulysses.rocha, natanael.ramos, lucas.melo, marcelo.benedito}@students.ic.unicamp.br,

{andre.silva, rgcano, fkm, ecx}@ic.unicamp.br

Abstract. *We present a new variation of the Cable-Trench Problem, the p -Cable-Trench Problem with Facility Location, in which there are costs to open facilities. We propose two heuristics: one based on Relax-and-Fix and another based on BRKGA, which we evaluate through experiments.*

Resumo. *Apresentamos uma nova variação do Problema Cabo-Trincheira, o p -Cabo-Trincheira com Localização de Instalações, em que há custos de abertura de instalações. Propomos duas heurísticas: uma baseada em Relax-and-Fix e outra baseada em BRKGA, que avaliamos experimentalmente.*

1. Introdução

O Problema Cabo-Trincheira (PCT) foi definido por [Vasko et al. 2002] para modelar redes cabeadas. Nesse problema, um conjunto de clientes precisa ser conectado a um servidor através de cabos dedicados, que são acomodados em uma infraestrutura de trincheiras não capacitadas. O objetivo é minimizar a soma dos custos de construção da infraestrutura de trincheiras e cabeamento. Dado um grafo completo $G = (V, E)$, um vértice $v_r \in V$ e fatores τ e γ não negativos, o objetivo do problema é encontrar uma árvore geradora $T = (V, E_T)$ de G enraizada em v_r que representa a infraestrutura de trincheiras, minimizando $\tau(\sum_{(i,j) \in E_T} d_{ij}) + \gamma(\sum_{v \in V} d_T(v_r, v))$, onde d_{ij} é o custo entre os vértices (i, j) e $d_T(v_r, v)$ o custo entre v_r e v em T . Dentre as aplicações do PCT e suas variantes, destacamos o planejamento de redes cabeadas e sem-fio [Nielsen et al. 2008], e reconstrução de vascularização em imagens de tomografia computadorizada [Vasko et al. 2016].

Neste artigo, apresentamos uma variante do PCT, o Problema Cabo Trincheira com Localização de Instalações (p -PCTLI), em que até p instalações podem ser abertas para servir clientes e cada instalação possui um custo de abertura. Esse problema generaliza o PCT e Localização de Instalações. Além disso, também generaliza a variante apresentada por [Marianov et al. 2012], chamada p -Cabo-Trincheira (p -PCT), onde exatamente p servidores são abertos para servir clientes, mas não há custos de abertura.

Definimos formalmente o p -PCTLI e mostramos uma formulação linear inteira na Seção 2, apresentamos uma heurística baseada em Relax-and-Fix na Seção 3, e apresentamos uma heurística baseada em BRKGA na Seção 4. Concluímos o trabalho avaliando os resultados na Seção 5.

*Financiamento CNPq:306358/2014-0, 311499/2014-7, 133728/2016-1, 425340/2016-3, 155498/2016-9, 131175/2017-3. FAPESP: 2014/14375-9, 2015/11937-9, 2015/11937-9, 2016/23552-7, 2016/12006-1.

2. Problema Cabo-Trincheira com Localização de Instalações

p -PCTLI : Seja um grafo direcionado $G = (N, A)$, um conjunto $F \subseteq N$ de candidatas a instalações, funções $l : A \rightarrow \mathbb{R}^+$ de custo de arestas trincheiras, $d : A \rightarrow \mathbb{R}^+$ de custos de arestas cabo e $w : F \rightarrow \mathbb{R}^+$ de custo de abertura de instalações, e um parâmetro positivo p . Encontre uma floresta geradora T com componentes T_1, T_2, \dots, T_k , onde $k \leq p$ e cada componente $T_i = (V_i, E_i)$ enraizada em um nó $r_i \in F$, tal que $\sum_{i=1}^k \left(\sum_{e \in E_i} l_e + \sum_{v \in V_i} d_T(r_i, v) + w_i \right)$ seja mínimo, onde $d_T(r_i, v)$ é o custo de arestas cabo no caminho de r_i a v em T_i .

Para a formulação em PLI do problema, inserimos um nó artificial v_0 conectado a todas as instalações do grafo, com distância de cabo igual a zero e distância de trincheira igual ao custo de abertura da instalação. Assim, restringindo o grau de v_0 , podemos utilizar formulações em PLI do PCT ou p -PCT para o p -PCTLI. Utilizamos a formulação *multicommodity-flow* para o p -PCT apresentada em [Marianov et al. 2012], adaptando as restrições e valores para o p -PCTLI. Sendo l_{ij} e d_{ij} os custos de construção de trincheiras e cabos, respectivamente. Definimos $G^+ = (N^+, A^+) : (N \cup n_0, A \cup A_0)$, onde n_0 é um vértice artificial e $A_0 = \{(v_0, j) : \forall j \in F\}$, com fatores de custo $l_{0i} = w_i$ e $d_{0i} = 0, \forall i \in F$. Sendo f_{ij}^k a variável indicadora da passagem do cabo com destino a k no arco (i, j) e x_{ij} a variável indicadora para trincheiras no arco (i, j) . Temos abaixo o PLI:

$$\text{minimizar } \sum_{(i,j) \in A^+} l_{ij} x_{ij} + \sum_{k \in N} \sum_{(i,j) \in A: i \neq k} d_{ij} f_{ij}^k$$

$$\text{Restrito a: } \sum_{j \in F} f_{0j}^k = 1 \quad \forall k \in N, \quad (2.1)$$

$$\sum_{i \in N^+: i \neq k, (i,k) \in A^+} f_{ik}^k = 1 \quad \forall k \in N, \quad (2.2)$$

$$\sum_{i \in N^+: i \neq k, (i,j) \in A^+} f_{ij}^k - \sum_{h \in N: (j,h) \in A} f_{jh}^k = 0, \quad \forall j, k \in N : j \neq k, \quad (2.3)$$

$$\sum_{i \in N^+: (i,j) \in A^+} x_{ij} = 1 \quad \forall j \in N, \quad (2.4)$$

$$f_{ij}^k \leq x_{ij} \quad \forall (i, j) \in A^+, k \in N : i \neq k, \quad (2.5)$$

$$\sum_{j \in F} x_{0j} \leq p. \quad (2.6)$$

A restrição (2.1) define v_0 como origem para todas as *commodities*. A restrição (2.2) faz com que todo vértice receba sua *commodity* correspondente. A restrição (2.4) define que todo vértice seja coberto por uma trincheira. A restrição (2.5) exige que exista uma trincheira na aresta sempre que houverem cabos, e (2.6) restringe o grau de v_0 em no máximo p .

3. Aplicando Relax-and-Fix ao p -PCTLI

Relax-and-fix é uma estratégia heurística que utiliza um modelo de Programação Linear Inteira (PLI) [Wolsey 1998]. Em nossa implementação para o p -PCTLI, utilizamos a formulação apresentada na seção 2. Iterativamente obtemos a solução da relaxação linear do PLI, utilizando-a como guia para fixar algumas variáveis com valores inteiros. Para isso, a cada iteração, executamos a heurística MOD_PRIM [Vasko et al. 2016] no grafo

suporte de cada solução do PL, fixando como parte da solução final os p caminhos de menor custo de uma instalação até um novo cliente, como parte da solução final, onde p é um parâmetro dependendo do tamanho da instância. Após fixados os p caminhos, re-otimizamos o PL para fixar os próximos p caminhos.

4. Aplicando BRKGA ao p -PCTLI

O BRKGA [Toso and Resende 2015] é uma metaheurística evolutiva onde cada solução é representada por n chaves aleatórias. Em uma implementação do BRKGA para um determinado problema, é necessário um decodificador que mapeie deterministicamente o vetor de chaves em uma solução viável do problema. Em nosso decodificador, temos uma chave para cada aresta. Para obtermos uma solução viável, as arestas são ordenadas de maneira decrescente por chave e iteradas nessa ordem para construir uma árvore geradora que define as trincheiras utilizadas, de maneira similar ao algoritmo de Kruskal, onde adicionamos uma arestas se esta não formar ciclo e não resultar na abertura de mais de p instalações. Calculamos o custo de cabos para cada cliente, encontrando o caminho único entre o servidor e o cliente com uma busca em largura.

5. Resultados Numéricos

class	n	p	BRKGA							Relax-and-Fix					Relaxação Lagrangeana					
			\bar{x}	σ	m	min	max	t	\bar{x}	σ	m	min	max	t	\bar{x}	σ	m	min	max	t
chess	288	14	38.13	4.10	38.00	28.00	46.00	30.81	0.078	0.27	0.00	0.00	1.00	91.52	0.63	0.53	1.00	0.00	2.00	18.49
chess	288	28	65.26	11.00	68.50	45.00	84.00	32.07	0.022	0.15	0.00	0.00	1.00	75.99	0.23	0.54	0.00	0.00	3.00	14.81
chess	288	43	75.50	11.34	79.00	56.00	96.00	30.97	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	70.89	7.50	3.09	7.00	2.00	15.00	2.66
fp_11	266	13	50.66	4.82	51.00	41.00	63.00	37.50	0.32	0.58	0.00	0.00	2.00	139.33	0.39	0.57	0.00	0.00	3.00	19.54
fp_11	266	26	79.79	10.45	83.00	61.00	98.00	37.84	0.011	0.11	0.00	0.00	1.00	99.75	0.31	0.59	0.00	0.00	4.00	14.30
fp_11	266	39	80.50	11.26	84.00	62.00	100.00	37.29	0.011	0.11	0.00	0.00	1.00	74.49	4.50	2.52	4.00	1.00	11.00	3.11
gap-a	200	10	40.66	5.46	41.00	28.00	53.00	22.55	0.18	0.41	0.00	0.00	2.00	56.12	0.47	0.54	0.00	0.00	2.00	8.80
gap-a	200	20	65.91	10.34	69.00	47.00	86.00	23.37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	41.94	0.10	0.30	0.00	0.00	1.00	6.84
gap-a	200	30	71.01	10.99	74.00	51.00	91.00	22.77	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	36.72	0.18	0.41	0.00	0.00	2.00	5.82
gap-b	200	10	40.83	5.29	42.00	29.00	58.00	22.75	0.22	0.54	0.00	0.00	2.00	58.56	0.46	0.50	0.00	0.00	1.00	8.86
gap-b	200	20	66.60	10.44	69.00	48.00	85.00	23.88	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	44.54	0.011	0.11	0.00	0.00	1.00	6.82
gap-b	200	30	70.86	11.43	73.00	50.00	89.00	23.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	38.22	0.34	0.77	0.00	0.00	4.00	6.09
gap-c	200	10	41.28	4.62	41.00	30.00	52.00	19.41	0.33	0.58	0.00	0.00	2.00	61.66	0.46	0.58	0.00	0.00	3.00	8.64
gap-c	200	20	68.48	11.10	71.50	48.00	88.00	20.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	45.06	0.044	0.21	0.00	0.00	1.00	7.05
gap-c	200	30	72.90	10.86	76.00	54.00	92.00	19.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	37.40	0.40	0.68	0.00	0.00	4.00	5.87
pc	256	12	31.01	3.49	31.00	24.00	41.00	20.33	0.21	0.51	0.00	0.00	2.00	73.09	0.53	0.52	1.00	0.00	2.00	14.05
pc	256	25	54.52	8.55	55.50	40.00	71.00	21.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	51.83	0.10	0.30	0.00	0.00	1.00	9.95
pc	256	38	69.71	11.31	73.00	50.00	90.00	21.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	46.91	3.07	2.90	2.00	0.00	12.00	5.66

Tabela 1. Resumo de Resultados

Nome	p	\bar{x}	σ	m	min	max
fp_17	30	11.48	18.15	17.39	-39.12	37.97
fp_17	61	10.11	16.02	12.95	-35.58	39.77
fp_17	92	12.59	17.56	17.20	-71.66	36.53

Tabela 2. Gap (em %) entre o BRKGA e a Relaxação Lagrangeana

O conjunto de instancias utilizadas foi baseado em [Beasley 1990], com adaptações análogas às de [Marianov et al. 2012], adicionando o custo de abertura das instalações que foi escolhido aleatoriamente entre o custo mínimo e máximo das arestas da instância. O *Relax-and-Fix* foi implementado utilizando GUROBI OPTIMIZER, o BRKGA foi implementado utilizando a biblioteca disponibilizada em [Toso and Resende 2015]. O ambiente computacional utilizado foi um Intel(R) Xeon(R) CPU E5-2420, 12 núcleos, 1.90 GHz, 32 GB memória RAM. O *Relax-and-Fix* foi executado com 100 iterações. Os

parâmetros utilizados para o BRKGA foram, população 50, elite 20%, mutação 15% , herança de característica 70%, com tempo máximo de 30 minutos e com 10 repetições.

Usamos 180 instancias nas quais todos os métodos foram executados, variando o valor de γ/τ em 0.25, 0.5 e 0.75. p foi definido como 10%, 20% e 30% do número de vértices de cada instância, totalizando 1620 repetições. Para comparar os resultados do BRKGA para instancias onde o PLI não pode ser executado devido a limitações de recursos computacionais, adaptamos a heurística utilizando Relaxação Lagrangeana apresentada em [Marianov et al. 2012]. O resumo dos resultados pode ser observado na Tabela 1. A primeira linha apresenta os métodos de solução. Cada linha subsequente possui resultados médios para as classes de instâncias. A coluna **Nome** informa a classe de instancias que foi executada, n o número de vértices da respectiva classe, \bar{x} , σ , **m**, **min** e **max** apresentam a média, desvio padrão, mediana, valores mínimo e máximo para o gap (em %) de função objetivo entre o método de solução e o ótimo. As colunas **t** apresentam o tempo de execução médio para cada classe.

Podemos destacar a heurística Relax-and-Fix, que obteve o custo ótimo para 76.97% das instâncias analisadas, e soluções no máximo 2% acima do ótimo. O BRKGA encontrou em média, resultados 60.2% acima do ótimo, mas com tempo de execução em média 2.45x menor que o Relax-and-Fix. A Relaxação Lagrangeana foi executada em todas as instancias testadas, como apresenta a Tabela 1 obteve bons resultados, mantendo um gap para a solução ótima de em média 1.09%, sendo também em média 9x mais rápida do que a heurística Relax-and-Fix. A Tabela 2, apresenta as instâncias nas quais somente os métodos BRKGA e Relaxação Lagrangeana foram executados, o grupo *fp_17* com instancias de 614 vértices, das 30 instâncias e 270 replicações, o BRKGA apresentou resultado melhor que a Relaxação Lagrangeana em apenas 54 instâncias.

Em trabalhos futuros pretendemos explorar novas formulações e heurísticas envolvendo Relaxação Lagrangeana. Para o Relax-and-Fix, explorar novas formas de fixação de arestas combinando com PLI. Para o BRKGA, pretendemos variar os parâmetros adotados e buscar por novos decodificadores para melhorar os resultados obtidos.

Referências

- Beasley, J. E. (1990). OR-Library: distributing test problems by electronic mail. *Journal of the Operational Research Society*, 41(11):1069–1072.
- Marianov, V., Gutiérrez-Jarpa, G., Obreque, C., and Cornejo, O. (2012). Lagrangean relaxation heuristics for the p -cable-trench problem. *Comp. Oper. Res.*, 39(3):620–628.
- Nielsen, R. H., Riaz, M. T., Pedersen, J. M., and Madsen, O. B. (2008). On the potential of using the cable trench problem in planning of ict access networks. In *ELMAR, 2008. 50th International Symposium*, volume 2, pages 585–588.
- Toso, R. F. and Resende, M. G. (2015). A c++ application programming interface for biased random-key genetic algorithms. *Optimization Methods and Soft.*, 30(1):81–93.
- Vasko, F. J., Barbieri, R. S., Rieksts, B. Q., Reitmeyer, K. L., and Jr., K. L. S. (2002). The cable trench problem: combining the shortest path and minimum spanning tree problems. *Computers & Operations Research*, 29(5):441 – 458.
- Vasko, F. J., Landquist, E., Kresge, G., Tal, A., Jiang, Y., and Papademetris, X. (2016). A simple and efficient strategy for solving very large-scale generalized cable-trench problems. *Networks*, 67(3):199–208.
- Wolsey, L. A. (1998). *Integer Programming*. Wiley-Interscience publication.

Algoritmo de Aproximação para o Problema da Evacuação por Ônibus*

Lehilton L. C. Pedrosa¹, Rafael C. S. Schouery¹

¹Instituto de Computação – Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)
Av. Albert Einstein, 1251 – 13083-852 – Campinas – SP – Brasil

{lehilton,rafael}@ic.unicamp.br

Abstract. We consider the Bus Evacuation Problem (BEP) in which, given a number B , a bipartite graph with parts S and T in a metric space, and a vertex r , one wishes to find a set of B walks, each starting in r and finishing in T so that each vertex i of S is visited at least l_i times, and each vertex j of T is visited at most u_j times. The objective is to find a solution that minimizes the length of the longest walk. This problem arises in emergency planning situations where the walks correspond to the routes of B buses, that must transport each group of people in S to a safe zone in T . In this paper, we give a 5.2 -approximation algorithm for the uncapacitated BEP, where u_j is infinity for each j .

Resumo. No Problema de Evacuação por Ônibus (BEP), dado um inteiro B , um grafo bipartido com partes S e T em um espaço métrico, e um vértice r , deseja-se encontrar um conjunto de B passeios, cada um começando em r e terminando em um vértice de T , de forma que cada vértice i de S é visitado no mínimo l_i vezes e cada vértice de T é visitado no máximo u_j vezes. O objetivo é encontrar uma solução que minimiza o comprimento da maior rota. Esse problema aparece em situações de planejamento para emergência, em que cada passeio corresponde à rota de um de B ônibus, que devem transportar cada grupo de pessoas em S para uma área segura em T . Neste trabalho, obtemos uma $5,2$ -aproximação para BEP sem capacidades, em que u_j é infinito para cada j .

1. Introdução

O objetivo do Problema da Evacuação por Ônibus (*Bus Evacuation Problem*, BEP) é determinar, a priori, uma política de evacuação e resgate de pessoas em eventos e situações de risco, como enchentes, terremotos, furacões etc. Em tais situações, é comum que os meios de transporte individuais (automóvel e demais) não estejam disponíveis ou não sejam uma opção viável, então a estratégia recomendada é que, uma vez dado um alerta de risco, as pessoas caminhem até o ponto de evacuação mais próximo. O resgate das pessoas é feito em seguida por meio de um número fixo de ônibus, estacionados em um depósito que levam cada grupo de pessoas a um de vários abrigos seguros. Cada ônibus faz uma ou mais viagens, a depender de sua capacidade e distância percorrida. Como

*Este trabalho foi parcialmente financiado pelo processo nº 2015/11937-9, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP).

os eventos considerados somente podem ser previstos com muito pouca antecedência, é crucial que o comprimento da maior rota realizada por um ônibus seja a menor possível.

Diversos modelos e variantes desse problema são considerados na literatura, em que se podem considerar ônibus iguais ou com capacidades diferentes, abrigos limitados, etc. Alguns trabalhos relacionados já estudaram o Problema da Evacuação por Ônibus. Particularmente, Bish (2011) introduziu um modelo matemático para o problema e desenvolveu um algoritmo heurístico para esse modelo. Ainda, Goerigk et al. (2013) descrevem diversas abordagens para obtenção de limitantes inferiores ou superiores (para o modelo de programação linear inteira), discutindo algumas técnicas de *branch-and-pruning*, e fazendo uma comparação de tais estratégias com a utilização do modelo de programação inteira pura. Porém, até o momento nenhum trabalho considerou o problema do ponto de vista de algoritmos de aproximação.

Contribuições Do ponto de vista computacional, BEP generaliza problemas clássicos como o Problema do Caixeiro Viajante ou o Problema de Roteamento de Veículos e, portanto, é NP-difícil. Neste trabalho, iniciamos o estudo desse problema do ponto de vista de algoritmos de aproximação e obtemos o primeiro algoritmo polinomial com aproximação constante para uma variante de BEP. Especificamente, obtemos uma 5,2-aproximação para o caso particular em que abrigos não têm capacidade.

2. Definições e preliminares

2.1. Definição

Formalmente, uma instância de BEP é composta por um grafo bipartido completo $G = (V, E)$ com partes S e $T \cup \{r\}$, em que $S = \{1, \dots, s\}$ é o conjunto de fontes, $T = \{1, \dots, t\}$ é o conjunto de sorvedouros e r representa um local distinto, que é usado como depósito de um número B de ônibus. Para cada fonte $i \in S$, existem l_i grupos de pessoas a serem resgatadas esperando em i , sendo que cada ônibus tem capacidade para transportar exatamente um grupo por vez. Cada sorvedouro $j \in T$ tem capacidade para abrigar até u_j grupos de pessoas. O tempo de viagem entre dois nós é dado por uma função de distância $d : V^2 \rightarrow \mathbb{R}^+$, i.e., para cada par i, j em V , vale $d_{ij} = d_{ji} \geq 0$ e $d_{ij} \leq d_{ik} + d_{kj}$ para todo $k \in V$.

Uma solução para o problema é um conjunto de B passeios em G , começando por r e terminando em um vértice de T (possivelmente com repetições de vértices), em que cada vértice $i \in S$ aparece pelo menos l_i vezes no conjunto de todas as rotas e cada vértice $j \in T$ apareça no máximo u_j vezes no conjunto de todas as rotas. O objetivo é encontrar uma solução que minimiza a distância total percorrida pela maior rota.

Seja $L = \sum_{i \in S} l_i$ o número total de grupos de pessoas a serem resgatadas. Sem perda de generalidade, pode-se supor que $B \leq L$, já que do contrário uma solução ótima poderia ser trivialmente encontrada associando-se um ônibus para cada grupo e reduzindo o problema para um problema de emparelhamento de custo mínimo. Ainda, suponha que L é limitado polinomialmente por $|S| + |T|$. Assim, a soma dos números de vértices (contando repetições) em todas as rotas é limitado polinomialmente em $|S| + |T|$ e, nesse caso, a saída do problema tem tamanho polinomial. Do contrário, se L não for limitado por um polinômio de $|S| + |T|$, então qualquer algoritmo para BEP não pode ser polinomial, considerando-se o tamanho da saída.

UNCAPBEP(G, d, B, r, l)

1. Para cada par $s_{\text{in}}, s_{\text{out}} \in S \times S$ tal que $s_{\text{in}} \neq s_{\text{out}}$:
 - (a) $\sigma' \leftarrow \text{PATH-TSP}(\tilde{d}, s_{\text{in}}, s_{\text{out}})$;
 - (b) Para cada par consecutivo de fontes i, j em σ' , insira um sorvedouro k entre os dois de forma que $d(i, k) + d(k, j) = \tilde{d}(i, j)$, obtendo um passeio σ em $S \cup T$;
 - (c) Divida σ em subcaminhos $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_B$ de tal forma que o comprimento do maior subcaminho é no máximo $d(\sigma)/B$, onde $d(\sigma)$ é o comprimento de σ ;
 - (d) Para cada $i, 1 \leq i \leq B$, seja t_i o sorvedouro mais próximo de acordo com d da última fonte de σ_i ;
 - (e) $P(s_{\text{in}}, s_{\text{out}}) \leftarrow \{r\sigma_1 t_1, r\sigma_2 t_2, \dots, r\sigma_B t_B\}$;
2. Devolva $\arg \min\{\text{VAL}(P(s_{\text{in}}, s_{\text{out}})) : s_{\text{in}}, s_{\text{out}} \in S \times S, s_{\text{in}} \neq s_{\text{out}}\}$.

Algoritmo 1: BEP Sem Capacidades

Com as hipóteses acima, pode-se considerar, sem perda de generalidade, que $l_i = 1$ para todo $i \in S$ e $u_j \in \{1, \infty\}$ para todo $j \in T$. Para ver o porquê, basta criar uma instância equivalente onde: (i) para cada fonte $i \in S$, substitua i por l_i cópias de i ; e (ii) para cada sorvedouro $j \in T$, se $u_j \geq L$, então substitua j por um sorvedouro com capacidade ∞ , ou se $u_j < L$, então substitua j por u_j cópias de j .

Neste trabalho consideramos somente a variante em que todo sorvedouro tem capacidade infinita. Assim, BEP Sem Capacidades (NC-BEP) é o caso particular de BEP em que, para todo $j \in T$, vale $u_j = \infty$ e, para todo $i \in S$, vale $l_i = 1$.

2.2. NP-Completeness

Verificando que (s, t) -TSP pode ser codificado como uma instância de NC-BEP, obtém-se o seguinte resultado. Lembre-se de que (s, t) -TSP é uma variante do TSP em que, dados um grafo G e dois vértices s e t de G , queremos encontrar um caminho Hamiltoniano que começa em s e termina em t e que tenha custo mínimo entre os caminhos com essa forma.

Teorema 2.1. O problema NC-BEP é NP-difícil, mesmo quando $B = 1$.

3. Algoritmo para BEP Sem Capacidades

O algoritmo para NC-BEP é baseado na ideia de quanto menor for o número de ônibus disponíveis, B , quando comparado com o número total de pessoas a serem resgatadas, L , então a estrutura de uma solução deve se assemelhar mais com aquela de NC-BEP com um único ônibus. O algoritmo executa em duas partes. Na primeira, enumeramos dois vértices de S que seriam o primeiro e o último visitados em uma solução de NC-BEP com um único ônibus, assim, reduzindo o problema para uma instância de (s, t) -TSP com uma função de distância modificada. Na segunda parte, modificamos a solução obtida para o problema com um único ônibus, criando B rotas para o problema original.

Seja \tilde{d}_{ij} o menor caminho de $i \in S$ para $j \in S$ que passa por algum sorvedouro $k \in T$. É fácil obter o seguinte lema.

Lema 3.1. \tilde{d} é uma função de distância sobre S .

No Algoritmo 1, denotamos por PATH-TSP uma α -aproximação para (s, t) -TSP e, dado um conjunto de rotas P , denotamos por VAL(P) o comprimento da maior rota em P .

4. Análise

Primeiro, comparamos o valor ótimo de uma solução de NC-BEP com 1 ou B ônibus. Considere duas instâncias I_1 e I_B de NC-BEP sobre o mesmo grafo G e com mesmo conjunto de demandas l_i , para cada $i \in S$, mas cujos números de ônibus são 1 e B , respectivamente. A seguir, definimos OPT_1 e OPT_B como os valores de soluções ótimas para I_1 e I_B . O próximo lema limita o valor ótimo para I_1 .

Lema 4.1. Para todo $B \geq 1$, vale $\text{OPT}_1 \leq (2B - 1)\text{OPT}_B$.

A afirmação a seguir segue diretamente do fato de que cada fonte está em uma rota e cada rota é um limitante para o valor ótimo.

Lema 4.2. Valem: $\max_{i \in S} d(r, i) \leq \text{OPT}_B$ e $\max_{i \in S} \min_{j \in T} d(i, j) \leq \text{OPT}_B$.

Teorema 4.3. Seja α o fator de aproximação de PATHTSP para (s, t) -TSP. Então UNCAPBEP é uma $(2\alpha + 2)$ -aproximação para NC-BEP.

Demonstração. Considere uma solução ótima para I_1 , isso é, o problema com um único ônibus. Nesse caso, uma solução é um passeio da seguinte forma $rs_1t_1 \dots s_{|S|}t_{|S|}$. Defina $s_{\text{in}}^* = s_1$ e $s_{\text{out}}^* = s_{|S|}$. Seja π o subpasseio $s_1t_1s_2 \dots s_{|S|}$ e $d(\pi)$ seu comprimento. Também seja π' o subpasseio sem os sorvedouros $s_1s_2 \dots s_{|S|}$ e $\tilde{d}(\pi')$ o comprimento. Claramente, $\tilde{d}(\pi') = d(\pi)$.

Agora considere uma instância de $(s_{\text{in}}^*, t_{\text{out}}^*)$ -TSP formada pelos vértices S , com distância \tilde{d} , e seja OPT_{TSP} uma solução ótima para essa instância. Sabemos que $\text{OPT}_{\text{TSP}} \leq d(\pi)$. De fato, π' é uma solução viável para $(s_{\text{in}}^*, t_{\text{out}}^*)$ -TSP, então $\text{OPT}_{\text{TSP}} \leq \tilde{d}(\pi') = d(\pi)$. Pelo Lema 3.1 e pelo fato de PATHTSP ser uma α -aproximação, temos que $\tilde{d}(\sigma') \leq \alpha \text{OPT}_{\text{TSP}}$. Por construção de σ e π , temos $d(\sigma) \leq \alpha d(\pi)$.

Considere o conjunto de rotas $P(s_{\text{in}}^*, s_{\text{out}}^*)$, que foi construído pelo algoritmo. Seja $r\sigma_jt_j$ a rota de maior comprimento e suponha que σ_j começa em s_i e termina em s_j . Combinando com os Lemas 4.1 e 4.2, obtemos:

$$\begin{aligned} d(r\sigma_jt_j) &= d(r, s_i) + d(\sigma_j) + d(s_j, t_j) \\ &\leq \text{OPT}_B + d(\sigma)/B + \text{OPT}_B \\ &\leq 2\text{OPT}_B + \alpha d(\pi)/B \\ &\leq 2\text{OPT}_B + \alpha \text{OPT}_1/B \\ &\leq 2\text{OPT}_B + \alpha(2B - 1)\text{OPT}_B/B \\ &\leq (2 + 2\alpha)\text{OPT}_B. \end{aligned}$$

Como o algoritmo devolve a melhor solução, o teorema segue. \square

Se utilizarmos o algoritmo de Sebő (2013) como sub-rotina para (s, t) -TSP, que obtém fator de aproximação $8/5$, obtemos o seguinte resultado.

Corolário 4.4. Existe uma 5,2-aproximação para NC-BEP.

Referências

- Bish, D. R. (2011). Planning for a bus-based evacuation. *OR Spectrum*, 33(3):629–654.
- Goerigk, M., Grün, B., and Heßler, P. (2013). Branch and bound algorithms for the bus evacuation problem. *Computers & Operations Research*, 40(12):3010 – 3020.
- Sebő, A. (2013). Eight-fifth approximation for the Path TSP. In *Proceedings of the 16th Conference on Integer Programming and Combinatorial Optimization*, pages 362–374.

Modelos para o Problema de Alocação de Pedágios

Alloma Silva¹, Geraldo R. Mateus¹

¹Departamento de Ciência da Computação
Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) – Belo Horizonte, MG – Brasil

{alloma, mateus}@dcc.ufmg.br

Abstract. *This work proposes solutions to minimize the traffic congestion by balancing the flow of vehicles that traverse the streets, through the allocation of tollbooths in strategical points. Thus, the main objective of this work is to propose mathematical models and to compare the limits for this problem.*

Resumo. *Este trabalho propõe soluções para minimizar o congestionamento do tráfego, controlando o fluxo de veículos que trafegam pelas vias, por meio da alocação de pedágios em pontos estratégicos. Dessa forma, o objetivo principal deste trabalho é propor modelos matemáticos e comparar os limites para este problema.*

1. Introdução

O crescimento do número de veículos nas vias tem ocasionado diversos problemas para a sociedade nas últimas décadas. A maioria das cidades não foi projetada para suportar o tráfego atual. Assim, quando há um fluxo de veículos desbalanceado, onde uma determinada demanda de veículos que passa pela via ultrapassa a capacidade da mesma, tem-se o congestionamento de tráfego. Nesse sentido, este trabalho propõe soluções para minimizar o congestionamento de tráfego através do controle do fluxo de veículos que trafegam nas vias; a abordagem consiste na alocação de pedágios em pontos estratégicos. Os pedágios funcionam como uma penalidade econômica para desencorajar o uso de alguns caminhos. O objetivo maior então, é escolher a melhor configuração para as tarifas a fim de reduzir os custos de viagem e balancear o tráfego. Neste caso, assume-se que os usuários escolhem os caminhos considerando o valor gasto com deslocamento e tarifas. Esse é um problema combinatório, cuja resolução demanda grande esforço computacional.

2. Formulação do Problema

Seja $G = (N, A)$ um grafo direcionado com um conjunto de nós N e um conjunto de arcos ponderados A . Seja K um conjunto de tráfegos (origens e destinos) para cada nó de origem $i \in N$ e de destino $j \in N$ com demanda d^k , $k \in K$. Sejam R um número máximo de pedágios que podem ser instalados nos arcos da rede, e L um número de níveis de tarifas. Para cada arco $(i, j) \in A$ tem-se um custo unitário c_{ij}^p de deslocamento, um custo fixo de tarifa t_{ij}^p e uma capacidade u_{ij}^p variando por nível $p = \{0, 1, \dots, L\}$. A tarifa pode ser zero ($t_{ij}^0 = 0$) se a capacidade u_{ij}^0 garantir que não haja congestionamento. O objetivo é minimizar os custos associados ao deslocamento e às tarifas, atendendo o tráfego e instalando um máximo de R pedágios.

3. Modelos de Programação Linear Inteira

Os modelos apresentados neste trabalho baseiam-se em Programação Linear Inteira (PLI). Nas duas abordagens, tem-se um número máximo R de postos de pedágios que se deseja instalar a fim de diminuir o congestionamento de determinadas vias. Assume-se que os usuários das vias optem sempre pelos caminhos de menor custo e que os arcos com capacidade mínima (u_{ij}^p , onde $p = 0$) não possuem pedágios, em outras palavras, a tarifa para esse nível é igual a zero.

Os modelos utilizam as variáveis: x_{ij}^k (indica se há fluxo da demanda k no arco (i, j)), x_{ij}^{kp} (indica se há fluxo do produto k no arco (i, j) no nível p), y_{ij}^p (indica se o pedágio no nível p é alocado ao arco (i, j)) e z_{ij}^p (fluxo total no arco (i, j) no nível p).

3.1. Modelo 1

Função objetivo:

$$\min \sum_{(i,j) \in A} \sum_{p=0}^L c_{ij}^p z_{ij}^p + \sum_{(i,j) \in A} \sum_{p=1}^L t_{ij}^p z_{ij}^p \quad (1)$$

Sujeito ao seguinte conjunto de restrições:

$$\sum_{(i,j)} x_{ij}^k - \sum_{(j,i)} x_{ji}^k = \begin{cases} 1 & \text{se } i = o(k) \\ -1 & \text{se } i = d(k) \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases} \quad \forall i \in N, \forall k \in K \quad (2)$$

$$\sum_{p=0}^L y_{ij}^p \geq x_{ij}^k, \quad \forall (i, j) \in A, \forall k \in K \quad (3)$$

$$\sum_{p=0}^L y_{ij}^p \leq 1, \quad \forall (i, j) \in A \quad (4)$$

$$\sum_{p=1}^L \sum_{(i,j)} y_{ij}^p \leq R \quad (5)$$

$$\sum_{p=0}^L z_{ij}^p = \sum_k x_{ij}^k d^k, \quad \forall (i, j) \in A \quad (6)$$

$$0 \leq z_{ij}^p \leq u_{ij}^p y_{ij}^p, \quad \forall (i, j) \in A, \forall p \in L \quad (7)$$

$$x_{ij}^k \in \{0, 1\}, \quad \forall (i, j) \in A, \forall k \in K \quad (8)$$

$$y_{ij}^p \in \{0, 1\}, \quad \forall (i, j) \in A, \forall p \in L \quad (9)$$

A função objetivo (1) minimiza os custos associados ao tráfego de veículos: O primeiro termo refere-se ao custo de deslocamento, enquanto que o segundo aos custos referentes às tarifas. As restrições (2) referem-se à conservação do fluxo (a existência de um caminho entre a origem e o destino para cada demanda). As restrições (3) e (4) garantem que cada arco pode conter pedágio em apenas um nível, caso haja um fluxo de

veículos passando por esses. A restrição (5) assegura que serão instalados até R pedágios. As restrições (6) associam a soma do fluxo total de cada arco $(i, j) \in A$, divididos em p níveis, à soma das demandas que passam pelos arcos. O conjunto de restrições (7) garante que o fluxo total de cada arco não excederá a capacidade máxima de cada nível p . Por fim, as restrições (8) e (9) definem o domínio das variáveis de decisão x e y .

3.2. Modelo 2

O segundo modelo, diferentemente do primeiro, é baseado na formulação do Problema de Fluxo Multiproduto em um grafo aumentado (p arcos para cada arco no grafo original), com variáveis e restrições adicionais. Cada um desses arcos está relacionado com uma capacidade e todas as demandas que passam entre dois nós devem utilizar o mesmo arco, isto é, apenas um nível pode ser escolhido para cada arco.

Função objetivo:

$$\min \sum_{(i,j) \in A} \sum_{p=0}^L \sum_k c_{ij}^p x_{ij}^{kp} d^k + \sum_{(i,j) \in A} \sum_{p=1}^L \sum_k t_{ij}^p x_{ij}^{kp} d^k \quad (10)$$

Sujeito ao seguinte conjunto de restrições:

$$\sum_{(i,j)} \sum_{p=0}^L x_{ij}^{kp} - \sum_{(j,i)} \sum_{p=0}^L x_{ji}^{kp} = \begin{cases} 1 & \text{se } i = o(k) \\ -1 & \text{se } i = d(k) \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases} \quad \forall i \in N, \forall k \in K \quad (11)$$

$$y_{ij}^p \geq x_{ij}^{kp}, \quad \forall (i, j) \in A, \forall k \in K, \forall p \in L \quad (12)$$

$$\sum_{p=0}^L y_{ij}^p \leq 1, \quad \forall (i, j) \in A \quad (13)$$

$$\sum_{(p=1)}^L \sum_{(i,j)} y_{ij}^p \leq R \quad (14)$$

$$\sum_k x_{ij}^{kp} d^k \leq u_{ij}^p y_{ij}^p, \quad \forall (i, j) \in A, \forall p \in L \quad (15)$$

$$x_{ij}^{kp} \in \{0, 1\}, \quad \forall (i, j) \in A, \forall k \in K, \forall p \in L \quad (16)$$

$$y_{ij}^p \in \{0, 1\}, \quad \forall (i, j) \in A, \forall p \in L \quad (17)$$

A função objetivo (10) minimiza os custos associados ao tráfego de veículos (custo de deslocamento e custos referentes às tarifas). As restrições (11) referem-se à conservação do fluxo, que garante um caminho para cada demanda. As restrições (12) e (13) garantem que cada arco pode conter pedágio em apenas um nível, nesse caso há um fluxo de veículos passando por esses. E a restrição (14) assegura que um número máximo R de pedágios serão instalados. O conjunto de restrições (15) garante que o fluxo total de cada arco não excederá a capacidade de cada nível. Por fim, as restrições (16) e (17) definem o domínio das variáveis de decisão x e y .

4. Resultados Computacionais

Os modelos foram implementados em linguagem C com a biblioteca de otimização [CPLEX 2009] versão 12.6. Os experimentos foram conduzidos no sistema operacional Ubuntu 14.04 LTS, processador Intel® Xeon® E5645, 2.40 GHz de frequência e 32 GB de memória RAM. Foi estabelecido um limite de tempo de 10800 segundos. O caractere “ - ” indica que o limite foi alcançado. Os experimentos foram realizados utilizando quatro instâncias sintéticas (8, 12, 16 e 20 nós), criadas a partir da instância original *Sioux Falls Test Network* [Meng and Yang 2002] que possui 24 nós, com diferentes capacidades em cada um dos arcos, coordenadas e demandas fixas para os pares de nós.

O custo de deslocamento (c_{ij}^0) foi calculado a partir das coordenadas, utilizando o cálculo de distâncias euclidianas. Para os outros c_{ij}^p foi estabelecido um acréscimo de $\{0\%, 10\%, 20\%\}$ do valor inicial. O número de níveis foi pré-determinado como $L = 2$ e as tarifas (t_{ij}^p) para cada nível igual a $\{1, 2 \text{ e } 3\}$ unidades, respectivamente. A capacidade (u_{ij}) dos arcos foi acrescida por um multiplicador, proporcional aos níveis $\{1.0, 1.5, 2.0\}$. O número máximo de pedágios, R , foi definido como o total de arcos da rede.

Neste trabalho foi considerado a relaxação de integralidade das variáveis x_{ij}^p , x_{ij}^{kp} e y_{ij}^p , essas deixaram de ser inteiras, para assumirem valores contínuos. A solução da relaxação linear (RL) pode demonstrar o quanto a relaxação de um modelo é mais forte e também permite comparar os modelos em termos de limites inferiores que esse fornece. A Tabela 1 apresenta os resultados computacionais. É possível perceber que o PLI dado pelo primeiro modelo resolve as instâncias mais rapidamente, mas os limites da relaxação linear do segundo modelo são melhores.

Tabela 1. Resultados Computacionais para os Modelos 1 e 2

Instância	Total de Arcos	Modelo 1			Modelo 2			1 e 2
		Função Objetivo	Tempo (s)	RL	Função Objetivo	Tempo (s)	RL	Pedágios Alocados
SiouxFalls_8	16	4.245.200	0.02	4.171.645	4.245.200	0.02	4.245.200	2
SiouxFalls_12	30	16.527.800	2.68	16.241.629	16.527.800	3.78	16.425.317	2
SiouxFalls_16	42	41.513.400	12.27	41.021.552	41.513.400	12.01	41.314.874	20
SiouxFalls_20	58	66.250.355	299.59	65.711.090	66.250.355	1578.34	65.841.253	30
SiouxFalls_24	76	91.628.611	-	91.099.847	91.724.608	-	91.397.715	46

5. Conclusão

Foram apresentados dois modelos de Programação Linear Inteira (PLI) para este problema. O PLI dado pela primeira formulação resolve as instâncias mais rápido do que o PLI dado pela segunda, mas os limites da relaxação linear do segundo modelo são melhores. Como trabalho futuro, planeja-se utilizar técnicas exatas como geração de colunas e *branch-and-price* com o intuito de obter soluções para instâncias maiores em um tempo aceitável.

Referências

- CPLEX, I. (2009). Ilog cplex homepage 2009.
- Meng, Q. and Yang, H. (2002). Benefit distribution and equity in road network design. *Transportation Research Part B: Methodological*, 36(1):19–35.

Reconhecendo Grafos com até 1 Cruzamento

André Carvalho Silva¹, Orlando Lee¹ *

¹Instituto de Computação – Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)
Campinas, São Paulo - Brasil

andre.silva, lee@ic.unicamp.br

Abstract. *The crossing number $cr(G)$ of a graph G is the least number of crossings over all possible drawings of G . This paper describes a minor improvement over a naive algorithm for deciding if $cr(G) \leq 1$.*

Resumo. *O número de cruzamentos de um grafo G é o menor número de cruzamentos dentre todos os desenhos de G . Este artigo descreve uma pequena melhora para um algoritmo ingênuo para decidir se $cr(G) \leq 1$.*

1. Introdução

Um *desenho* D de um grafo $G = (V(G), E(G))$ é a união das imagens de:

- uma função injetiva $\phi : V(G) \rightarrow \mathbb{R}^2$, e
- uma função ϕ_e para cada aresta $e = uv$, tal que ϕ_e é um mapeamento contínuo entre o intervalo real $[0, 1]$ e um subconjunto do \mathbb{R}^2 , $\phi_e(0) = \phi(u)$ e $\phi_e(1) = \phi(v)$, ou vice-versa, e $\phi(V) \cap \phi_e([0, 1] \setminus \{0, 1\}) = \emptyset$.

No texto, não faremos distinção entre as arestas e vértices do grafo e o conjunto de pontos representando elas em D . Seja H um subgrafo de G , usamos a notação $D[H]$ para representar o desenho de H em D .

Seja D um desenho de um grafo G , um *cruzamento* é uma interseção entre o interior de duas arestas. O *número de cruzamentos* $cr(D)$ de D é o número de interseções entre arestas em D . O *número de cruzamentos* $cr(G)$ de um grafo G é o menor $cr(D)$ dentre todos os desenhos D de G .

O número de cruzamentos de um grafo tem aplicações práticas nas áreas de VLSI (*Very Large Scale Integration*) e de desenhos de grafos (*graph drawing*). Leighton [Leighton 1983] mostrou que a área necessária para representar um circuito elétrico está intrinsecamente relacionada ao número de cruzamentos do grafo que representa o circuito. Purchase [Purchase 1997] fez uma pesquisa mostrando que o desenhos de grafos que minimizam o número de cruzamentos são os mais fáceis de entender visualmente.

Como apontado por Székely [Székely 1997], resultados sobre o número de cruzamentos de grafos podem ser utilizados para provar, de forma simples, alguns problemas difíceis de geometria discreta.

Dado um grafo G e um inteiro k , determinar se $cr(G) \leq k$ é um problema NP-Completo [Garey and Johnson 1983]. Sabe-se que o problema é *fixed-parameter tractable* para k fixo [Grohe 2001]. Informalmente, isto significa que para cada k fixo existe um algoritmo polinomial que decide se $cr(G) \leq k$.

*Pesquisa financiada pela FAPESP Proc. 2014/14375-9, 2015/04385-0 e 2015/11937-9, CNPq Proc. 311373/2015-1

Conhece-se na literatura um algoritmo ingênuo que dados G e k , decide se $cr(G) \leq k$. Este artigo apresenta um algoritmo que, apesar de não ser assintoticamente melhor, pode melhorar a complexidade em até $|E(G)|$ para grafos mais densos. Este artigo apresenta uma melhoria para algoritmo simples que determina se um grafo tem um ou menos cruzamentos. Na Seção 2 descreveremos o algoritmo ingênuo. Na Seção 3 descrevemos nosso algoritmo.

2. Algoritmo Ingênuo para Decidir se $cr(G) \leq k$

Nesta seção descreveremos um algoritmo simples para decidir se $cr(G) \leq k$.

Usamos indução em k . Se $k = 0$ podemos usar um algoritmo de planaridade com complexidade linear no tamanho dos vértices [Hopcroft and Tarjan 1974].

Por indução em k , sabemos se $cr(G) < k$. Se for, então o problema está resolvido. Suponha o contrário. Precisamos verificar se $cr(G) = k$. Seja e, f um par de arestas distintas de G . Denotamos por $G_{e,f}$ o grafo obtido subdividindo e e f e identificando as subdivisões. Denominamos este novo vértice de v . Note que se D é um desenho de $G_{e,f}$ com $k - 1$ cruzamentos D também é um desenho de G com $n + 1$ cruzamentos, então, por hipótese, $G_{e,f}$ não pode ser desenhado com menos que $k - 1$ cruzamentos.

Seja e, f um par de arestas distintas de G . Por indução verificamos se $cr(G_{e,f}) = k - 1$. Suponha que sim e seja D um desenho de $G_{e,f}$ com $k - 1$ cruzamentos. Logo, existe um desenho de G com k cruzamentos, e portanto $cr(G) = k$. Se $n < k - 1$, similarmente, temos que $cr(G) \leq k - 1$, contrariando nossa hipótese. Caso $cr(G_{e,f}) > k - 1$ temos que G não possui nenhum desenho com no máximo k cruzamentos tal que e e f se cruzam.

Logo se não existe nenhum par de arestas distintas e, f de G tal que $cr(G_{e,f}) \leq k - 1$, concluímos que não existe nenhum desenho D' de G com $cr(D') \leq k$.

Note que a cada passo indutivo no algoritmo, adicionamos duas arestas e um vértice a mais no grafo. Portanto, são gerados no máximo $(|E(G)| + 2k)^2 + 1$ subproblemas e no caso base executamos um algoritmo de complexidade $O(|V(G)| + k)$. Logo, analisando a árvore da recursão, concluímos que o algoritmo tem complexidade $O((|E(G)| + 2k)^{2k}(|V(G)| + k))$.

3. Reconhecendo Grafos com até um cruzamento

Quando $k = 1$ o algoritmo ingênuo descrito na seção anterior tem complexidade $O(|E(G)|^2|V(G)|)$. Nesta seção, descrevemos como podemos melhorar esse algoritmo neste caso.

Um par de arestas $e, f \in E(G)$ é um *par cruzante* se existe um desenho de G com um cruzamento no qual $D[e]$ e $D[f]$ se cruzam. Um subgrafo H de G é um *1-subgrafo* de G se $cr(H) = 1$. Seja H um subgrafo de um grafo G . Denotamos por $D[H]$ o desenho de H contido em D .

Lema 1. *Seja G um grafo não-planar. Se e, f é um par cruzante de um grafo G então e, f também é um par cruzante de todo 1-subgrafo H de G .*

Demonstração. Seja H um 1-subgrafo de H e seja D um desenho com um cruzamento de G no qual e e f se cruzam. Já que $D[H]$ tem que ter um cruzamento, o mesmo

deve conter e e f pois são as únicas arestas que se cruzam em D . Logo, $D[H]$ tem um cruzamento. \square

O lema anterior mostra que não é necessário verificar se $cr(G_{e,f}) = 1$ para todo par de arestas de G . Basta apenas verificar para todo par de arestas cruzante de um 1-subgrafo H de G .

Assim, podemos modificar o algoritmo da seguinte maneira. Verificamos se G é planar. Se sim então o problema está resolvido. Senão, existe um subgrafo H de G que é uma subdivisão de um $K_{3,3}$ ou K_5 . O subgrafo H pode ser obtido através do algoritmo de planaridade em tempo linear no número de vértices [Hopcroft and Tarjan 1974]. Verificamos se $cr(G_{e,f}) = 0$ para cada par de arestas e, f distintas de H . Caso sim para algum par, então $cr(G) \leq 1$. Caso contrário, $cr(G) > 1$.

O algoritmo tem complexidade $O(|E(H)|^2|V(G)|)$. No pior caso, no qual $G = H$, a complexidade é a mesma do algoritmo descrito na seção anterior. Dado que o número de arestas de H é linear com relação ao número de vértices de G , em grafos densos, temos uma melhora de até $|E(G)|$ no tempo de execução do algoritmo com relação ao ingênuo.

Podemos usar este algoritmo como caso base no algoritmo da seção anterior, melhorando o tempo de execução do mesmo. No caso em que é conhecido um 1-subgrafo H de G específico, podemos utilizar a informação sobre os pares cruzantes de H para melhorar o tempo de execução.

Referências

- [Garey and Johnson 1983] Garey, M. R. and Johnson, D. S. (1983). Crossing number is NP-complete. *SIAM Journal on Algebraic Discrete Methods*, 4(3):312–316.
- [Grohe 2001] Grohe, M. (2001). Computing crossing numbers in quadratic time. In *Proceedings of the Thirty-third Annual ACM Symposium on Theory of Computing, STOC '01*, pages 231–236, New York, NY, USA. ACM.
- [Hopcroft and Tarjan 1974] Hopcroft, J. and Tarjan, R. (1974). Efficient planarity testing. *J. ACM*, 21(4):549–568.
- [Leighton 1983] Leighton, F. T. (1983). *Complexity Issues in VLSI: Optimal Layouts for the Shuffle-exchange Graph and Other Networks*. MIT Press, Cambridge, MA, USA.
- [Purchase 1997] Purchase, H. (1997). Which aesthetic has the greatest effect on human understanding? In DiBattista, G., editor, *Graph Drawing*, volume 1353 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 248–261. Springer Berlin Heidelberg.
- [Székely 1997] Székely, L. A. (1997). Crossing numbers and hard Erdős problems in discrete geometry. *Combinatorics, Probability and Computing*, 6:353–358.

Utilizando álgebras de flags para problemas de combinatória extremal

Roberto F. Parente^{1,2}, Cristiane M. Sato³

¹ Departamento de Ciência da Computação – Universidade Federal da Bahia
Salvador, Brasil

² Instituto de Matemática e Estatística – Universidade de São Paulo
São Paulo, Brazil

³ Centro de Matemática, Computação e Cognição – Universidade Federal do ABC
Santo André, Brazil

robertop@ime.usp.br, c.sato@ufabc.edu.br

Abstract. *The goal of this paper is to present a simple introduction to the theory of flag algebras developed by Razborov, as well as illustrate this theory's power for obtaining results in extremal combinatorics. In this paper, we investigate a density problem in tournaments.*

Resumo. *O objetivo deste trabalho é apresentar uma introdução acessível à teoria das álgebras de flags desenvolvida por Razborov, bem como ilustrar a aplicabilidade desta teoria para obter resultados em combinatória extremal. Neste trabalho, lidamos com um problema de densidade em torneios.*

Introdução

Neste trabalho, apresentamos uma breve introdução à teoria de álgebras de flag, desenvolvida por Razborov [Razborov 2007], que tem sido utilizada em diversos problemas de combinatória extremal. Para ilustrar a aplicabilidade dessa teoria, apresentamos um resultado para torneios [Coregliano et al. 2015, Parente 2016] obtido utilizando técnicas da teoria de álgebra de flags.

Um *torneio* é um digrafo $T = (V, A)$ tal que, para cada par não-ordenado de vértices $\{u, v\}$, temos que exatamente um dentre (u, v) e (v, u) pertence a A (veja a Figura 1). O problema que estudamos é o seguinte. Seja T um torneio com t vértices. Queremos calcular o seguinte valor: $\max_{T_n \in \mathcal{T}_n} p(T, T_n)$, onde \mathcal{T}_n é o conjunto de todos os torneios com n vértices e $p(T, T_n)$ é o número de cópias de T em T_n dividido por $\binom{n}{t}$. Note que $p(T, T_n)$ é a probabilidade de, ao sortearmos um conjunto S de t vértices de T_n , obtermos um digrafo $T_n[S]$ isomorfo a T . Dizemos que $p(T, T_n)$ é a *densidade* de T em T_n . Ou seja, queremos saber qual é a densidade máxima de T considerando todos os torneios em n vértices. Em combinatória extremal, é comum lidarmos com versões assintóticas dos problemas investigados. No nosso caso, isso significa que queremos calcular o valor $\lim_{n \rightarrow \infty} \max_{T_n \in \mathcal{T}_n} p(T, T_n)$. Neste trabalho, utilizamos álgebras de flag para mostrar que

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \max_{T_n \in \mathcal{T}_n} p(R, T_n) = 1/16, \quad (1)$$

The first author is supported by FAPESP grant (2016/24041-6) and this article was produced as part of the activities of FAPESP Research, Innovation and Dissemination Center for Neuromathematics (grant 2013/ 07699-0 , S.Paulo Research Foundation). The second author is Partially supported by FAPESP grant (Processo 2013/03447-6).

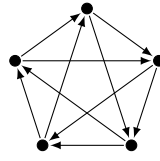


Figura 1. Torneio R : um torneio em 5 vértices.

onde R é o torneio na Figura 1. A prova completa do resultado está disponível em [Coregliano et al. 2015, Parente 2016].

Destacamos que uma característica de grande interesse no uso das álgebras de flags é a fácil utilização de resolvidores de programas semidefinidos para a obtenção de cotas superiores para os valores que queremos calcular.

Álgebra de flags

Nesta seção, apresentamos brevemente alguns conceitos de álgebra de flags. Para facilitar a leitura, definiremos flags no contexto de torneios. No entanto, um dos aspectos mais atrativos dessa teoria é que esta pode ser usada para modelar diversas estruturas combinatórias como, por exemplo, grafos, hipergrafos, permutações, grafos livres de uma família de grafos proibidos, entre outras. Mais precisamente, a teoria de álgebra de flags foi criada para lidar com qualquer teoria universal de primeira ordem.

A idéia principal é criar uma álgebra que capture as densidades $p(T, T_n)$. Trabalhamos com torneios rotulados e parcialmente rotulados: um *tipo* é um torneio cujo conjunto de vértices é $\{1, \dots, t\}$ para algum $t \in \mathbb{N}$; dado um tipo σ com t vértices, uma σ -flag é um par $F = (T, \theta)$ onde T é um torneio, $\theta : \{1, \dots, t\} \rightarrow V(T)$ é uma imersão de σ em T , ou seja, a função θ é um isomorfismo entre σ e o torneio induzido por $\text{im}(\theta)$ em T . Veja a Figura 2. Dado um tipo σ , denotamos por \mathcal{F}_ℓ^σ o conjunto das σ -flags com ℓ vértices e fazemos $\mathcal{F}^\sigma = \cup \mathcal{F}_\ell^\sigma$. Para σ -flags T, T' de tamanhos $t \leq t'$, definimos $p(T, T')$ como a razão entre o número de conjuntos W de tamanho $t - s$ (onde $s = |V(\sigma)|$) tais que $T'[W \cup S]$ é isomorfo a T (onde S é o conjunto de vértices rotulados de T) e $\binom{t'}{t-s}$.

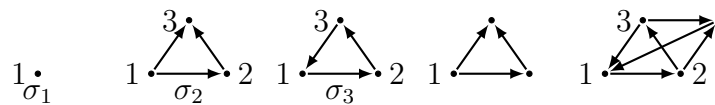


Figura 2. Tipos σ_1, σ_2 e σ_3 , uma σ_1 -flag e uma σ_3 -flag

Em seguida, construímos o conjunto $\mathbb{R}\mathcal{F}^\sigma$ de todas as combinações lineares formais dos elementos de \mathcal{F}^σ . Por exemplo, se T e T' são σ -flags, então $T + T', T - T', 4T - (2/3)T'$ são elementos de $\mathbb{R}\mathcal{F}^\sigma$ (ou seja, qualquer combinação com quaisquer coeficientes é válida). No entanto, esse espaço de combinações não captura as densidades como queríamos e não mostra nenhuma relação entre as combinações. Para capturar as densidades, gostaríamos que T fosse considerado igual à combinação linear $\sum_{T_n \in \mathcal{F}_n^\sigma} p(T; T_n)T_n$, pois $p(T, T_n) = \sum_{\tilde{T} \in \mathcal{F}_n^\sigma} p(T; \tilde{T})p(\tilde{T}, T_n)$. Isso pode ser feito da seguinte maneira. Considere o subespaço linear \mathcal{K}^σ gerado pelos elementos $T - \sum_{T_n \in \mathcal{F}_n^\sigma} p(T; T_n)T_n$ (para todo $n \in \mathbb{N}$ com $n \geq V(T)$). Queremos considerar todos os elementos de \mathcal{K}^σ como zero.

Isso é feito definindo $\mathcal{A}^\sigma = \mathbb{R}\mathcal{F}^\sigma/\mathcal{K}^\sigma$ como a álgebra¹ obtida pelo quociente de $\mathbb{R}\mathcal{F}^\sigma$ por \mathcal{K}^σ . Por exemplo, seja T uma σ -flag com t vértices e T' uma σ -flag com t' vértices. Como poderíamos avaliar a expressão $T - T'$? Seja $n \geq \max\{t, t'\}$ e suponha que $\sum_{T_n \in \mathcal{F}_n^\sigma} p(T; T_n) = (1/2)T_a + (1/2)T_b$ e $\sum_{T_n \in \mathcal{F}_n^\sigma} p(T'; T_n) = (1/3)T_a + (2/3)T_b$. Então na álgebra vale que $T - T' = (1/6)T_a - (1/6)T_b$.

Agora volte a considerar o problema de mostrar que $\lim_{n \rightarrow \infty} \max_{T_n \in \mathcal{T}_n} p(R, T_n)$ é $1/16$, onde R é o torneio na Figura 1. Uma propriedade interessante é que existe uma sequência $(T_n)_{n \in \mathbb{N}}$ de torneios com tamanho crescente tal que não apenas $\lim_{n \in \mathbb{N}} p(T, T_n) = 1/16$, mas $\lim_{n \in \mathbb{N}} p(T', T_n)$ também existe para todo torneio T' . Assim, é natural dizer que uma sequência $(T_n)_{n \in \mathbb{N}}$ de σ -flags é *convergente* se é crescente e para toda σ -flag fixa $F \in \mathcal{F}^\sigma$, a sequência de números reais $(p(F; T_n))_{n \in \mathbb{N}}$ é convergente. Ou seja, o nosso problema é equivalente a calcular $\lim_{n \rightarrow \infty} p(T, T_n)$ onde $(T_n)_{n \in \mathbb{N}}$ é uma sequência convergente.

Uma parte essencial da teoria de álgebra de flags é lidar com essas sequências convergentes. O que seria um objeto-limite apropriado? Se $(T_n)_{n \in \mathbb{N}}$ é uma sequência convergente de σ -flags, precisamos de um objeto ϕ para o qual $\phi(T) = \lim_{n \rightarrow \infty} p(T; T_n)$. Seja $\text{Hom}^+(\mathcal{A}^\sigma, \mathbb{R})$ homomorfismos de álgebras² ϕ de \mathcal{A}^σ para \mathbb{R} tal que $\phi(T) \geq 0$ para toda σ -flag T . Dizemos que uma sequência de σ -flags $(T_n)_{n \in \mathbb{N}}$ converge para $\phi \in \text{Hom}^+(\mathcal{A}^\sigma, \mathbb{R})$ se $\phi(T) = \lim_{n \rightarrow \infty} p(T; T_n)$ para toda σ -flag T .

Como saber que esses homomorfismos são o objeto-limite “certo” para as sequências convergentes? Um belo resultado de Razborov [Razborov 2007, Theorem 3.3] e de Lovász e Szegedy [Lovász and Szegedy 2006] nos diz que toda sequência convergente de σ -flags converge para um homomorfismo em $\text{Hom}^+(\mathcal{A}^\sigma, \mathbb{R})$. Por outro lado, para todo homomorfismo $\phi \in \text{Hom}^+(\mathcal{A}^\sigma, \mathbb{R})$, existe uma sequência de σ -flags que converge para ϕ . Assim, temos que

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \max_{T_n \in \mathcal{T}_n} p(R, T_n) = \max_{\phi \in \text{Hom}^+(\mathcal{A}^0, \mathbb{R})} \phi(T), \quad \text{onde } \mathbf{0} \text{ é um torneio sem vértices.} \quad (2)$$

O método semidefinido para álgebra de flags

Note que prover limitantes inferiores para problemas de densidade máxima é uma tarefa relativamente fácil. De fato, toda sequência crescente de torneios $(T_n)_{n \in \mathbb{N}}$ nos dá um limitante inferior $\limsup_{n \rightarrow \infty} p(T; T_n)$. De fato, seja R_{2n+1} o que chamaremos de *torneio carrossel*. Esse torneio tem conjunto de vértices $V(R_{2n+1}) = \{0, 1, \dots, 2n\}$ e conjunto de arcos $A(R_{2n+1}) = \{(v, (v+i) \bmod (2n+1)) : v \in V(R_{2n+1}) \text{ e } i \in [n]\}$, onde $[n] = \{1, 2, \dots, n\}$. Através de uma prova combinatória simples, pode-se mostrar que $\lim_{n \rightarrow \infty} p(R, R_n) = 1/16$. Mas como mostrar que não é possível atingir um valor maior? De fato, essa é a parte difícil da prova.

Na seção anterior, vimos que o problema de calcular a densidade máxima de R pode ser visto como um problema de maximização em $\text{Hom}^+(\mathcal{A}^\sigma, \mathbb{R})$. À primeira vista, pode parecer que trocamos um problema relativamente simples de descrever e de forte

¹Para que \mathcal{A}^σ seja de fato uma álgebra, é preciso que definir também um produto. Para detalhes, veja o artigo [Coregliano et al. 2015, Parente 2016].

²Uma função $\phi : \mathcal{A}^\sigma \rightarrow \mathbb{R}$ é um homomorfismo de álgebra se para todo $\alpha \in \mathbb{R}$ e $f, g \in \mathcal{A}^\sigma$, vale que $\phi(\alpha \cdot f) = \alpha \cdot \phi(f)$, $\phi(f \cdot g) = \phi(f) \cdot \phi(g)$ e $\phi(f + g) = \phi(f) + \phi(g)$.

intuição combinatória por um problema muito mais difícil por lidar com objetos muito mais complexos (os homomorfismos). De fato, a intuição combinatória perde-se nos homomorfismos. No entanto, Razborov desenvolveu um método para formular problemas semidefinidos para obter limitantes superiores para (2). Dessa forma, podemos usar o auxílio do computador por meio de resolvidores para programas semidefinidos para obter esses limitantes. Esse método tem sido usado com muito sucesso para avançar o entendimento de diversos problemas de combinatória extremal.

A seguir, descrevemos como construir o programa semidefinido para o nosso problema. Primeiro, escolhemos um número $m \in \mathbb{N}$ e tipos $\sigma_1, \dots, \sigma_t$. Para cada $1 \leq i \leq m$, seja k_i o número de vértices de σ_i . Em seguida, escolhemos números $\ell, \ell_1, \dots, \ell_m$ tais que $2\ell_i - k_i \leq \ell$ para todo $1 \leq i \leq m$.

No programa semidefinido abaixo, as variáveis são matrizes $Q(i) \in \mathbb{R}^{\mathcal{F}_{\ell_i}^{\sigma_i} \times \mathcal{F}_{\ell_i}^{\sigma_i}}$, para $1 \leq i \leq m$. Uma matriz simétrica real é dita *positiva semidefinida* se todos os seus autovalores são não-negativos. Para duas matrizes $A, B \in \mathbb{R}^{n \times n}$, o produto interno $\langle A, B \rangle$ é definido como $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n A_{i,j} B_{i,j}$. O programa semidefinido é o seguinte:

$$\begin{aligned} & \min y \\ & \text{s.t. } p(R, T) + \sum_{i=1}^m \langle Q(i), C(i, T) \rangle \leq y \quad \forall T \in \mathcal{T}_\ell; \\ & \quad Q(i) \in \mathbb{R}^{\mathcal{F}_{\ell_i}^{\sigma_i} \times \mathcal{F}_{\ell_i}^{\sigma_i}} \text{ é positiva semidefinida} \quad \forall i \in \{1, \dots, m\}, \end{aligned}$$

onde $C(i, T) \in \mathbb{R}^{\mathcal{F}_{\ell_i}^{\sigma_i} \times \mathcal{F}_{\ell_i}^{\sigma_i}}$ é uma matriz de coeficientes tal que, para $T_1, T_2 \in \mathcal{F}_{\ell_i}^{\sigma_i}$,

$$C(i, T)_{T_1, T_2} = \sum_{T \in \mathcal{F}_\ell^{\sigma_i}} p(T_1, T_2; T) p(\sigma_i, T|_0) p(T|_0, T),$$

onde $T|_0$ é o torneio obtido a partir de T após a remoção dos rótulos e $p(T_1, T_2; T)$ é a *densidade conjunta* de T_1 e T_2 em T , que é definida por $p(T_1, T_2; T) = |W| / \left(\frac{\ell!}{(\ell - k_i)!^2 (\ell - 2\ell_i - 2k_i)!} \right)$, onde W é o conjunto de pares (W_1, W_2) de subconjuntos disjuntos de $V(T)$ de tamanho $\ell_i - k_i$ tais que $T[W_1 \cup S] \cong T_1$ e $T[W_2 \cup S] \cong T_2$ e S é o conjunto de vértices rotulados de T . Claramente, computar esses coeficientes é uma parte trabalhosa para a aplicação do método. Para o nosso problema, escolhemos $m = 3$, $\ell = 5$, $\ell_1 = 3$, $\ell_2 = \ell_3 = 4$. Os tipos σ_1, σ_2 e σ_3 estão na Figura 2. Com isso, obtemos um programa semidefinido e utilizamos os programas CDSF e SDPA para obter o valor $1/16$.

Referências

- [Coregliano et al. 2015] Coregliano, L. N., Parente, R. F., and Sato, C. M. (2015). On the maximum density of fixed strongly connected subtournaments. *ArXiv e-prints*.
- [Lovász and Szegedy 2006] Lovász, L. and Szegedy, B. (2006). Limits of dense graph sequences. *J. Combin. Theory Ser. B*, 96(6):933–957.
- [Parente 2016] Parente, R. F. (2016). *Empacotamento e contagem em digrafos: cenários aleatórios e extremais*. PhD thesis, Instituto de Matemática e Estatística, Universidade de São Paulo.
- [Razborov 2007] Razborov, A. (2007). Flag algebras. *J. Symbolic Logic*, 72(4):1239–1282.

Minimum Weight Tree Spanner Problem*

Hugo Braga

¹Instituto de Matemática e Estatística – Universidade de São Paulo
05508-090 – São Paulo – SP – Brazil

hbraga@ime.usp.br

Abstract. Let (G, w, t) denote a triplet consisting of a connected graph $G = (V, E)$ with a nonnegative weight function w defined on E , and a real number $t > 1$. A tree t -spanner of G is a spanning tree H of G such that for each pair of vertices u, v , the distance between u and v in H is at most t times the distance between u and v in G . We address the Minimum Weight Tree Spanner Problem (MWTS), defined as follows. Given a triplet (G, w, t) , find a tree t -spanner in G that has the smallest possible weight. It is known that MWTS is NP-hard for every fixed $t \geq 4$. We propose two ILP formulations for MWTS, based on arborescences, of polynomial size, and present some preliminary results on the computational experiments with these formulations.

Resumo. Seja (G, w, t) uma tripla formada por um grafo conexo $G = (V, E)$ com uma função peso w definida sobre E , e um número real $t > 1$. Uma árvore t -spanner de G é uma árvore geradora H de G tal que para quaisquer pares de vértices u, v , a distância entre u e v em H é no máximo t vezes a distância entre u e v em G . Estudamos o problema da árvore spanner de custo mínimo, denotado por MWTS (acrônimo de Minimum Weight Tree Spanner): dada uma tripla (G, w, t) , encontrar em G uma árvore t -spanner que tenha o menor peso possível. Sabe-se que MWTS é NP-difícil para todo $t \geq 4$, fixo. Propomos duas formulações lineares inteiras para o MWTS, baseadas em arborescências, de tamanho polinomial, e apresentamos resultados preliminares sobre os experimentos computacionais realizados com essas formulações.

1. Introduction

In this work, (G, w, t) denotes a triplet consisting of a connected graph $G = (V, E)$ with nonnegative weight w_e for each edge $e \in E$, and a real number $t > 1$. For two distinct vertices u, v in V , the distance between u and v in G , denoted by $\text{dist}_G(u, v)$, is the length of a shortest path (w.r.t. w) from u to v in G .

A t -spanner of G is a spanning subgraph H of G such that $\text{dist}_H(u, v) \leq t \cdot \text{dist}_G(u, v)$ for all vertices u, v in V . The integer t is called the stretch factor. A tree t -spanner is a t -spanner that is a tree. We study the Minimum Weight Tree Spanner Problem (MWTS), defined as follows: given a triplet (G, w, t) , find a tree t -spanner in G of minimum weight.

*Preliminary results of an ongoing research carried out by the author in his PhD program at IME-USP under the supervision of Professor Yoshiko Wakabayashi. This work also benefited from helpful discussions with Professor Manoel Campêlo (UFC). Research supported by FAPESP fellowship, Project (Proc. 2013/22875-9) and MaCLinC project of NUMEC/USP.

The cardinality version of this problem is basically a feasibility (or existence) problem. Even in this case, the problem is known to be NP-complete [Cai and Corneil 1995] for every fixed $t \geq 4$. It is known to be solvable in polynomial time for $t = 2$ [Bondy 1989, Cai and Corneil 1995]. The computational complexity status when $t = 3$ is unknown.

The more general problem, in which the objective is to find a t -spanner, has been largely investigated. It arises in distributed computing scenarios [Awerbuch 1985], communication networks [Peleg and Upfal 1988] and robotics. The concept of *spanners* was introduced in 1987 (in a conference) by Peleg and Ullman [Peleg and Upfal 1988], in connection with construction of synchronizers. Heuristics as well as a column-generation approach have been proposed for the graph spanner (but not for the tree spanner) problem.

In this work we focus on two ILP formulations for MWTS. In these formulations, we use the result proved by [Cai and Corneil 1995] that guarantees that the stretch factor condition can be simplified to $\text{dist}_H(u, v) \leq t \cdot w(u, v)$ for all $uv \in E$. To our knowledge, no approximation algorithms or ILP formulations have been proposed for MWTS.

2. Integer Linear Formulations for MWTS

The polyhedron of the tree spanner problem associated with (G, w, t) is defined as $P(G, t) := \text{conv}\{\mathcal{X}^F \in \mathbb{R}^{|E|} \mid G[F] \text{ is a tree } t\text{-spanner}\}$, where \mathcal{X}^F denotes the incidence vector of F . In what follows we present two ILP formulations. With respect to the two polyhedra defined by the convex hull of the integer points satisfying these formulations, $P(G, t)$ is a projection on the space $\mathbb{R}^{|E|}$.

2.1. Formulation 1: finding distances between vertices

Given a graph $G = (V, E)$, let $D = (V, A)$ be the digraph obtained from G , where $A = \{(u, v), (v, u) : uv \in E\}$. Let $\mathbb{B} := \{0, 1\}$. Take a vertex $v \in V$ (root of a v -rooted arborescence) and consider the variable $z^v = (z_{ij}^v)_{ij \in A}$, associated with v . This variable tells which arcs are in the v -rooted arborescence. In the formulation we deal with arborescences in D , rooted at different vertices of this digraph. They allow us to find paths between vertices on the given arborescences in a easy way. Then, using these arborescences, we construct a spanning tree (defined by the variables x) satisfying the stretch factor condition.

The decision variable $x \in \mathbb{B}^{|E|}$ has the following meaning: for each edge e , $x(e) = 1$ if and only if e is part of the solution. For each $f \in E$, consider $y^f = (y_e^f)_{e \in E}$. The variable $y \in \mathbb{B}^{|E| \times |E|}$ has the following meaning: for each edge e , and edge $f = uv$, $y_e^f = 1$ if and only if e is in the path between u and v in the solution tree.

$$\min \sum_{e \in E} w_e x_e$$

s.t.

$$\sum_{e \in E} x_e = |V| - 1 \tag{1}$$

$$\sum_{i \in \delta^-(j)} z_{ij}^r = 1 \quad \forall r \in V, \forall j \in V \setminus \{r\} \tag{2}$$

$$\sum_{i \in \delta^-(r)} z_{ir}^r = 0 \quad \forall r \in V \quad (3)$$

$$x_e = z_{ij}^r + z_{ji}^r \quad \forall r \in V, \forall e = \{i, j\} \in E \quad (4)$$

$$z_{ij}^u - z_{ij}^v \leq y_e^{uv} \leq z_{ij}^u + z_{ij}^v \quad \forall uv \in E, \forall e = \{i, j\} \in E \quad (5)$$

$$z_{ji}^u - z_{ji}^v \leq y_e^{uv} \leq z_{ji}^u + z_{ji}^v \quad \forall uv \in E, \forall e = \{i, j\} \in E \quad (6)$$

$$\sum_{e \in E} w_e y_e^{uv} \leq t \cdot w(u, v) \quad \forall uv \in E \quad (7)$$

$$x \in \mathbb{B}^{|E|}, y \in \mathbb{B}^{|E| \times |E|}, z^v \in \mathbb{B}^{|E| \times |E|} \quad \forall v \in V \quad (8)$$

2.2. Formulation 2: with variables representing distances between pairs of vertices

For this formulation, we consider the same setting as the previous formulation. Given $G = (V, E)$, we consider similarly the digraph $D = (V, A)$. The variables $z \in \mathbb{R}^{|V| \times |E| \times |E|}$ and $x \in \mathbb{R}^{|E|}$ are also defined similarly. Additionally, now let $u \in \mathbb{R}^{|V| \times |V|}$ be a variable, such that for $i, j \in V$, when $u_i^j = u_j^i$, then u_j^i represents the distance between i and j . In the formulation, M_{ij} is a given upper bound on the distance between vertices i and j in G .

$$\min \sum_{e \in E} w_e x_e$$

s.t.

$$\sum_{e \in E} x_e = |V| - 1 \quad (9)$$

$$\sum_{i \in \delta^-(j)} z_{ij}^r = 1 \quad \forall r \in V, \forall j \in V \setminus \{r\} \quad (10)$$

$$\sum_{i \in \delta^-(r)} z_{ir}^r = 0 \quad \forall r \in V \quad (11)$$

$$x_e = z_{ij}^r + z_{ji}^r \quad \forall r \in V, \forall e = \{i, j\} \in E \quad (12)$$

$$u_i^r - u_j^r + (M_{ij} + w_{ij})z_{ij}^r + (M_{ij} - w_{ij})z_{ji}^r \leq M_{ij} \quad \forall r \in V, \forall ij \in A, j \neq r \quad (13)$$

$$u_i^r + (M_{ir} - w_{ir})z_{ri} \leq M_{ir} \quad \forall r \in V, \forall ri \in A \quad (14)$$

$$u_r^r = 0 \quad \forall r \in V \quad (15)$$

$$u_i^j = u_j^i \leq t \cdot w_{ij} \quad \forall ij \in E \quad (16)$$

$$x \in \mathbb{B}^{|E|}, z^r \in \mathbb{B}^{|E| \times |E|}, u^r \in \mathbb{R}^{|V|} \quad \forall r \in V \quad (17)$$

The idea behind constraint (13) was used by [Miller et al. 1960] for the TSP.

3. Computational experiments

We carried out some computational experiments to compare the two formulations and to have some idea of the strength of these formulations. We focused the unweighted case (cardinality version) and the case in which the weights represent Euclidean distance. For the cardinality version, we implemented a polynomial-time algorithm (showed by Nadiradze, 2013) for the *Bounded Diameter Minimum Spanning Tree* problem to use in the preprocessing phase. We also added two other valid inequalities for this version.

Our implementation was coded in C++, using CPLEX as the ILP solver. The code was run on a machine with 65 GB of RAM and 1.6 GHz (using single core). We present only results obtained with Formulation 2, as it consistently outperformed Formulation 1. Table 1 shows results for the cardinality version. We considered three parameters, and for each combination, we generated 10 random instances. *Density* means the percentage of edges in the graph compared to the complete graph. *Time* is the average time in seconds (for the instances solved with ILP); TLE (Time Limit Exceeded) indicates the number of instances not solved within 1 hour of CPU time.

t$	|V|$	Density	# Solved in prep. phase	TLE	# Solved with ILP	Time (s)
3	10	40	5	0	5	0.02
	10	60	10	0	0	-
	20	20	0	0	10	0.07
	20	40	0	0	10	7.03
	20	60	7	0	3	87.61
	30	20	0	0	10	0.32
	30	40	0	0	10	1250.94
	30	60	7	3	0	-
	40	20	0	0	10	83.30
	40	40	0	10	0	-
	40	60	0	10	0	-

Table 1. Computational results for the cardinality version

For $t = 3$, instances with density 40 and 60 are the hardest ones. For this case, almost all instances (of order up to 60) with density 20 could be solved quickly. Similarly, for $t \in \{3, 4\}$, all instances (of order up to 60) with density 80 were solved quickly (all of them with preprocessing). For $t = 4$, all instances with density 40 or 60 were solved quickly (with positive answer).

For the Euclidean case, we considered instances of order in the range from 10 to 120 (subgraphs of graphs from public libraries). For $t = 3$, all instances were solved. However, few of these instances admit a tree 3-spanner, and these are all of low order. For $t = 4$, the greater the density, the smaller the number of instances solved. In this case, for instances with density 80, only instances of order up to 40 were solved. For the instances considered, finding tree spanners for $t = 3$ was faster than for $t = 4$. We have to perform more computational experiments, but it seems that the random instances, cardinality version, are harder to be solved.

References

- [Awerbuch 1985] Awerbuch, B. (1985). Complexity of network synchronization. *J. ACM*, 32(4):804–823.
- [Bondy 1989] Bondy, J. A. (1989). Trigraphs. *Discrete Math.*, 75(1-3):69–79.
- [Cai and Corneil 1995] Cai, L. and Corneil, D. G. (1995). Tree spanners. *SIAM J. Disc. Math.*, 8(3):359–387.
- [Miller et al. 1960] Miller, C. E., Tucker, A. W., and Zemlin, R. A. (1960). Integer programming formulation of traveling salesman problems. *J. ACM*, 7(4):326–329.
- [Peleg and Upfal 1988] Peleg, D. and Upfal, E. (1988). A tradeoff between space and efficiency for routing tables. In *STOC '88*, pages 43–52, New York, USA.

Tighter Analysis of an Approximation for the Cumulative VRP*

Mauro Henrique Mulati^{1,2}, Flávio Keidi Miyazawa¹

¹Institute of Computing – University of Campinas (UNICAMP)
Campinas – SP – Brazil

²Department of Computer Science – Midwestern State University (UNICENTRO)
Guarapuava – PR – Brazil

{mhmulati, fkm}@ic.unicamp.br

Abstract. We deal with the cumulative vehicle routing problem (VRP), a generalization of the capacitated VRP, which objective is to minimize the fuel consumption. Gaur et al. in 2013 gave a 4-approximation based on a well-known partition heuristic to the traveling salesperson problem (TSP). We present a tighter analysis obtaining a $\left(4 - \frac{4}{3s^3Q^2}\right)$ -approximation, where Q is the capacity of the vehicle and s is a scaling factor. To the best of our knowledge, this is the best proved approximation for the cumulative VRP so far.

1. Introduction and Previous Work

The cumulative VRP was proposed by [Kara et al. 2008]. The objective is to minimize the fuel consumption, given that the fuel consumed by distance unit is linearly proportional to the total weight being carried (vehicle + load).

An instance of the cumulative VRP is given by what follows. A complete undirected graph $G(V, E)$ with vertices $V = \{0, 1, \dots, n\}$, where 0 is the depot and the other vertices are customers. There is an object of weight $w_i \in \mathbb{Q}_{>0}$ for each customer i , and we consider that $w_0 = 0$. Each edge $uv \in E$ has a length $d_{uv} \in \mathbb{Q}_{>0}$ satisfying the triangular inequality. An empty vehicle with capacity $Q \in \mathbb{Q}_{>0}$ and weight $W_0 \in \mathbb{Q}_{>0}$ is initially located at the depot, and also, the weight of an object does not exceed Q . In a feasible solution S , we have that the only vehicle is repeatedly used in k directed cycles, each one including the depot, to form a schedule that picks up the objects at the customers and drops them in the depot, visiting every customer exactly once. The objective is to obtain such a schedule that minimizes the fuel consumed.

Let $\mu > 0$ be a constant that relates how much fuel is consumed by weight per distance unit. We define $a = \mu W_0$ and $b = \mu$. The fuel consumed by the vehicle to traverse the cycle C_j is $f(C_j) = a|C_j| + b \sum_{i \in C_j} w_i d_i^S$, where $|C_j|$ is the length of the cycle C_j , and d_i^S is the distance traveled by the vehicle carrying the object from being picked in the customer i until being dropped at the depot in the schedule S . The fuel consumed by a vehicle to perform a schedule S is $f(S) = a \sum_{j=1}^k |C_j| + b \sum_{i=1}^n w_i d_i^S$. Let d_i be the shortest distance between vertex i and the depot.

*Supported by CNPq (311499/2014-7 and 425340/2016-3), FAPESP (2015/11937-9), and SETI-PR / Fund. Araucária / CAPES.

In this paper, we roughly follow the structure of [Gaur et al. 2013]. For our contribution, we use the theorems 1-4 from [Gaur et al. 2013] and the definitions presented below.

Theorem 1 ([Haimovich and Rinnooy Kan 1985, Gaur et al. 2013]). *Let C^* denote an optimal TSP tour of the graph $G(V, E)$. Then, the total distance traveled by a vehicle to bring all objects to the depot is at least $\max\left(|C^*|, 2\frac{\sum_{i=1}^n w_i d_i}{Q}\right)$.*

A *subtour* is a TSP tour that visits a subset of $V(G)$, and, when it is clear, we will use tour to denote it. W.l.o.g., consider that the vertices of a tour C are numbered as $0, 1, \dots, n$ in the order that they appear in the sequence, and 0 is the depot. $|C|$ is the length of the tour C . By a *cluster* $[i, j]$ we mean a set of a sequence of vertices in the tour C from i to j , with the extremes included. Considering $k \geq 2$, and $1 < x_1 < x_2 < \dots < x_{k-1} \leq n$, a *cluster partition* denoted by $P = [1, x_1, x_2, \dots, x_{k-1}, n]$ of tour C is a decomposition of C into the k clusters $[1, x_1], [x_1, x_2], \dots, [x_{k-1}, n]$. From a cluster partition P of C , we are able to construct k subtours C_1, \dots, C_k such that: to traverse the subtour C_j , the vehicle begins at the depot, visits the vertices of C_j in increasing order, and ends in the depot. The length of P is given by $l(P) = |C_1| + \dots + |C_k|$.

Theorem 2 ([Altinkemer and Gavish 1987, Gaur et al. 2013]). *Let an integer $s > 0$ be a scaling factor in a way that sw_i , for every $i \in V$, sW_0 , and sQ are positive integers, such that $sw_i \leq sQ$ for every $i \in V$. Let C be a TSP tour of G and let Q be the vehicle capacity. Then, there exists a cluster partition P of C with total length at most $4\frac{\sum_{i=1}^n w_i d_i}{Q} + \left(1 - \frac{2}{sQ}\right) |C|$.*

Theorem 3 ([Gaur et al. 2013]). *Let C^* be an optimal TSP tour, and let Q be the capacity of the vehicle. Then, the minimum fuel consumed by the vehicle to bring all objects to the depot is at least $a \cdot \max\left(|C^*|, 2\frac{\sum_{i=1}^n w_i d_i}{Q}\right) + b\left(\sum_{i=1}^n w_i d_i\right)$.*

Theorem 4 ([Gaur et al. 2013]). *Let $\beta > 0$ be a positive rational number, C be a TSP tour, and assume that the vehicle has infinite capacity. Then, there exists a cluster partition $P = [1, x_1, x_2, \dots, x_{k-1}, n]$ of C with total fuel consumption at most $\left(1 + \frac{2}{\beta}\right) b\left(\sum_{i=1}^n w_i d_i\right) + \left(1 + \frac{\beta}{2}\right) a|C|$.*

2. Our Contribution

We provide, in theorems 5 and 6, a refined analysis of the algorithm of [Gaur et al. 2013], showing a tighter approximation ratio than the one presented by them.

Theorem 5 (From [Gaur et al. 2013] with a tighter bound). *Let $\beta > 0$ be a positive rational number, C be a TSP tour, and Q be the vehicle capacity. Then, there exists a cluster partition $P = [1, x_1, x_2, \dots, x_{k-1}, n]$ of C with total fuel consumption at most $\left(1 + \frac{2}{\beta}\right) b\left(\sum_{i=1}^n w_i d_i\right) + \left(1 + \frac{\beta}{2}\right) a|C| + 4a\frac{\sum_{i=1}^n w_i d_i}{Q} - 2a\frac{\sum_{j=1}^k |C_j|}{sQ}$.*

Proof. Considering infinite capacity, there exists a cluster partition P of tour C with fuel consumption $f(P)$ with an upper bound given by Theorem 4. Let C_1, C_2, \dots, C_k be the subtours corresponding to the cluster partition P . Let W_j be the total weight of the objects picked by the vehicle in the subtour C_j . If $W_j \leq Q$, then C_j satisfies the capacity restriction and, consequently, we keep the cluster corresponding to the subtour C_j with fuel consumption $f(C_j)$ unchanged. On the other hand, assume that $W_j > Q$: by

Theorem 2 there exists a refined cluster partition P_j of C_j such that the total weight of the objects in each cluster of P_j is at most Q , and there exists an upper bound on its length.

Now, given a subtour C_j , we will give an upper bound on the fuel consumption $f(P_j)$. W.l.o.g., we assume that the fuel consumption $f(C_j)$ of the subtour C_j is obtained by a traversal in clockwise order (the reversed case is symmetric). Consider that the vehicle traverses each subtour C_{jl} , $1 \leq l \leq k_j$ in the partition P_j . We have that V_j is the set of vertices of the tour C_j . Consider that, for each vertex $i \in V_j$, we have $d_i^{C_j}$ that represents the distance traveled by the vehicle from picking object i to dropping it at the depot in tour C_j , and analogously, $d_i^{P_j}$ represents the respective distance for the cluster partition P_j . We have that $d_i^{P_j} \leq d_i^{C_j}$, because the cluster partition P_j is a refinement of the tour C_j . Thus we can write $f(P_j) = \sum_{l=1}^{k_j} f(C_{jl}) = \sum_{l=1}^{k_j} \left(a|C_{jl}| + b \sum_{i \in C_{jl}} w_i d_i^{P_j} \right) = a \sum_{l=1}^{k_j} |C_{jl}| + b \sum_{i \in C_j} w_i d_i^{P_j} \leq a \cdot l(P_j) + b \sum_{i \in C_j} w_i d_i^{C_j} \leq 4a \frac{\sum_{i \in C_j} w_i d_i}{Q} + a|C_j| - a|C_j| \frac{2}{sQ} + b \sum_{i \in C_j} w_i d_i^{C_j} = f(C_j) + 4a \frac{\sum_{i \in C_j} w_i d_i}{Q} - a|C_j| \frac{2}{sQ}$, where we used the upper bound on $l(P_j)$ given by Theorem 2.

We consider that P' is the final cluster partition that includes all the clusters, the ones unchanged as well as the ones refined. Thus, the total fuel consumption is given by $f(P') = \sum_{j=1}^k f(P_j) \leq \sum_{j=1}^k \left(f(C_j) + 4a \frac{\sum_{i \in C_j} w_i d_i}{Q} - a|C_j| \frac{2}{sQ} \right) = \sum_{j=1}^k f(C_j) + 4a \frac{\sum_{j=1}^k \sum_{i \in C_j} w_i d_i}{Q} - 2a \frac{\sum_{j=1}^k |C_j|}{sQ} = f(P) + 4a \frac{\sum_{i=1}^n w_i d_i}{Q} - 2a \frac{\sum_{j=1}^k |C_j|}{sQ}$. By the upper bound of Theorem 4 on $f(P)$, we have that P' is a cluster partition satisfying the theorem. ■

Lemma 1. *Let C^* be an optimal TSP tour in a complete graph $G(V, E)$ with weight function d that are part of an instance of the capacitated VRP. Then, $|C^*| \leq 2 \sum_{i=1}^n d_i$.*

Proof. Recall that $|V| = n + 1$, with the vertices numbered from 0 (depot) to n . By definition $|C^*| = \sum_{uv \in E(C^*)} d_{uv} \leq \sum_{uv \in E(C^*)} (d_u + d_v) = \sum_{i \in V(C^*)} 2d_i = 2 \sum_{i=0}^n d_i = 2 \sum_{i=1}^n d_i$, where we used: that $d_{uv} \leq d_{u0} + d_{0v}$ for $uv \in E(C^*)$ by the triangular inequality, the definition that $d_{i0} = d_{0i} = d_i$ for every $i \in V$, the fact that each vertex i is an extreme of exactly two edges of C^* , and the definition $d_0 = 0$. ■

Theorem 6. *There exists a factor $4 - \frac{4}{3s^3Q^2}$ polynomial-time approximation algorithm for the cumulative VRP.*

Proof. Given as input an instance of cumulative VRP as previously described, consider the algorithm with the steps: (1) compute a tour C of G by the well-known Christofides' algorithm [Gaur et al. 2013], which guarantees that $|C| \leq \frac{3}{2}|C^*|$; (2) compute a cluster partition P^* of tour C with optimal fuel consumption by a DP algorithm in time $O(n^2)$ as done in [Gaur et al. 2013]; and (3) return the subtours $C_1^*, C_2^*, \dots, C_k^*$ of P^* .

In this algorithm, we optimally calculate P^* of C in polynomial time. The analysis is being made over a heuristic algorithm that also calculates a cluster partition P of a tour, thus we can state that $f(P^*) \leq f(P)$. Let S^* be an optimal routing scheduling in fuel consumption. By theorems 5 and 3, we have the ratio

$$\frac{f(P^*)}{f(S^*)} \leq \frac{\left(1 + \frac{2}{\beta}\right) b \left(\sum_{i=1}^n w_i d_i\right) + \left(1 + \frac{\beta}{2}\right) a|C| + 4a \frac{\sum_{i=1}^n w_i d_i}{Q} - 2a \frac{\sum_{j=1}^k |C_j|}{sQ}}{a \max\left(|C^*|, 2 \frac{\sum_{i=1}^n w_i d_i}{Q}\right) + b \sum_{i=1}^n w_i d_i}$$

$$\leq \frac{4 \left(a \left(\frac{|C^*|}{2} + \frac{2 \sum_{i=1}^n w_i d_i}{Q} \right) + b \sum_{i=1}^n w_i d_i \right) - 2a \frac{\sum_{j=1}^k |C_j|}{sQ}}{a \max \left(|C^*|, 2 \frac{\sum_{i=1}^n w_i d_i}{Q} \right) + b \sum_{i=1}^n w_i d_i} \quad (1)$$

$$\leq 4 - \frac{2a \sum_{j=1}^k |C_j|}{sQ \left(a \max \left(|C^*|, 2 \frac{\sum_{i=1}^n w_i d_i}{Q} \right) + b \sum_{i=1}^n w_i d_i \right)}$$

$$\leq 4 - \frac{2a \max \left(|C^*|, 2 \frac{\sum_{i=1}^n w_i d_i}{Q} \right)}{sQ \left(a \max \left(|C^*|, 2 \frac{\sum_{i=1}^n w_i d_i}{Q} \right) + b \sum_{i=1}^n w_i d_i \right)} \quad (2)$$

$$= 4 - \frac{2\mu W_0 \max \left(|C^*|, 2 \frac{\sum_{i=1}^n w_i d_i}{Q} \right)}{sQ \left(\mu W_0 \max \left(|C^*|, 2 \frac{\sum_{i=1}^n w_i d_i}{Q} \right) + \mu \sum_{i=1}^n w_i d_i \right)} \quad (3)$$

$$\leq 4 - \frac{2W_0 \max \left(|C^*|, 2 \frac{\sum_{i=1}^n w_i d_i}{Q} \right)}{sQ \left(sW_0 \max \left(|C^*|, 2 \frac{\sum_{i=1}^n w_i d_i}{Q} \right) + sW_0 \sum_{i=1}^n s w_i d_i \right)} \quad (4)$$

$$= 4 - \frac{2 \max \left(|C^*|, 2 \frac{\sum_{i=1}^n w_i d_i}{Q} \right)}{s^2 Q \left(\max \left(|C^*|, 2 \frac{\sum_{i=1}^n w_i d_i}{Q} \right) + \sum_{i=1}^n s w_i d_i \right)}$$

$$\leq 4 - \frac{4 \frac{\sum_{i=1}^n w_i d_i}{Q}}{3s^3 Q \sum_{i=1}^n w_i d_i} = 4 - \frac{4}{3s^3 Q^2}. \quad (5)$$

To obtain (1), we chose $\beta = \frac{2}{3}$ and used that $|C| \leq \frac{3}{2}|C^*|$. We used Theorem 1 to get (2). To obtain (3), recall that $a = \mu W_0$ and $b = \mu$. In (4), we made use of the fact that s and sW_0 are integers. To obtain (5), we deal with the absolute value of the fraction: we kept or lower the numerator; and we majored the denominator applying the fact that $|C^*| \leq 2 \sum_{i=1}^n d_i \leq 2 \sum_{i=1}^n s w_i d_i$ as Lemma 1 states and as $s w_i$ are integers for every $i \in V$, and the fact $2 \frac{\sum_{i=1}^n w_i d_i}{Q} = 2 \frac{\sum_{i=1}^n s w_i d_i}{sQ} \leq 2 \sum_{i=1}^n s w_i d_i$, as sQ is integer. ■

References

- Altinkemer, K. and Gavish, B. (1987). Heuristics for unequal weight delivery problems with a fixed error guarantee. *Operations Research Letters*, 6(4):149 – 158.
- Gaur, D. R., Mudgal, A., and Singh, R. R. (2013). Routing vehicles to minimize fuel consumption. *Operations Research Letters*, 41(6):576 – 580.
- Haimovich, M. and Rinnooy Kan, A. H. G. (1985). Bounds and heuristics for capacitated routing problems. *Mathematics of Operations Research*, 10(4):527–542.
- Kara, I., Kara, B. Y., and Yetiş, M. K. (2008). *Cumulative Vehicle Routing Problems*, pages 85–98. InTech Education and Publishing KG, Vienna, Austria.

Algoritmo Branch-and-Bound para o Problema do Caixeiro Alugador

Vítor de Godeiro Marques¹

¹Instituto Metrópole Digital
Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)
Av. Senador Salgado Filho, 3000 – 59078-970 – Natal – RN – Brasil

vitorgodeirom@gmail.com

Abstract. *In the Car Renter Salesman Problem, a set of cities should be visited, beginning and ending in the same city, using vehicles rented for transport. Has the goal to minimize the cost to perform the route. Several vehicles are available for rental, each one with its characteristics and operating costs. These costs include besides the amount paid for the rent of vehicles, the fuel consumption and toll. Additionally, there is a fee to return the vehicle to the city in which it was rented, if it went returned in a different city. In this paper we propose an exact algorithm based on the Branch-and-Bound method for the problem mentioned.*

Resumo. *No Problema do Caixeiro Alugador, um conjunto de cidades devem ser visitadas, começando e terminando na mesma cidade, usando veículos alugados para transporte. Possui como objetivo minimizar o custo para realizar o percurso. Diversos veículos estão disponíveis para aluguel, cada qual com suas próprias características e custos operacionais. Esses custos incluem além do valor pago pelo aluguel dos veículos, o consumo de combustível e pedágios. Adicionalmente, existe uma taxa para retornar um veículo para a cidade em que ele foi alugado, se ele for entregue em uma cidade diferente. Nesse trabalho é proposto um algoritmo exato baseado no método Branch-and-Bound para o referido problema.*

1. Introdução

O Problema do Caixeiro Viajante – PCV (do inglês *Traveling Salesman Problem* – TSP)   um dos problemas clássicos da otimização combinatória e um dos problemas de otimização combinatória mais pesquisados na literatura. O PCV possui várias e importantes aplicações práticas e diversas variantes [Gutin and Punnen 2002]. Uma das variantes do PCV é o Problema do Caixeiro Alugador (do inglês *Car Renter Salesman Problem* – CaRS), recentemente descrito na literatura em [Goldbarg et al. 2011]. Esse modelo tanto pode representar importantes aplicações na área do aluguel de transporte para turismo quanto em manufatura flexível [Goldbarg et al. 2012]. Por admitir o PCV como um subcaso elementar, o modelo representa uma variante de complexidade seguramente desafiadora [Goldbarg et al. 2011].

Neste trabalho, propomos atacar o Problema do Caixeiro Alugador de forma exata, para isso aplicamos a técnica *Branch-and-Bound* [Balas and Toth 1983], pois ela tem sido aplicada com bastante frequência em problemas de otimização combinatória, incluindo o Problema do Caixeiro Viajante [Prestes 2006].

2. Caixeiro Alugador

Nos dias atuais existem mais de 90 companhias de aluguel de veículos com porte significativo no mercado mundial [Car 2014]. A importância do negócio de aluguel de veículos pode ser avaliada pelo faturamento do setor como pelo porte das companhias prestadoras de serviço. Algumas destas chegam a faturar bilhões de dólares [Conrad and Perlut 2006]. Contudo o aluguel de veículos é apenas uma fração dos custos de transporte, sobre esses custos adiciona-se pelo menos as despesas com combustível, seguros e pedágios [Goldbarg et al. 2011]. Apesar de alguns trabalhos serem dedicados a área de otimização combinatória para a indústria de aluguel de carros, tais como os revisados por [Yang et al. 2008], o ponto de vista do cliente não foi objeto de estudo nessas publicações. A abordagem do ponto de vista do usuário de carros alugados é introduzida no trabalho [Goldbarg et al. 2011], a partir do Problema do Caixeiro Alugador.

Considerando um grafo $G = (N, M)$ ponderado em arestas, com r carros disponíveis para alugar. Uma matriz de custos $C^r = [c_{ij}^r]$ indica o custo total de aluguel pela distância percorrida, combustível e possíveis pedágios entre quaisquer duas cidades i e j com o veículo r . A matriz $D^r = [d_{ij}^r]$ indica o custo total do carro r alugado na cidade i ser devolvido na cidade j , tal que $i \neq j$. A função objetivo é minimizar o custo total do percurso mais o custo de retorno dos veículos alugados. Neste trabalho, é considerada a variante do Caixeiro Alugador em que cada veículo pode ser alugado apenas uma única vez.

3. Branch-and-Bound na solução do Problema do Caixeiro Alugador

O cálculo do limitante inicial do problema é realizado a partir do algoritmo evolucionário da classe memética [Radcliffe and Surry 1994] descrito em [Goldbarg et al. 2011]. Nesse algoritmo a população inicial é gerada pelo procedimento do vizinho mais próximo adaptada ao CaRS. A etapa da busca local desse algoritmo é representada pela busca em vizinhança variável descendente (do inglês *Variable Neighborhood Descent - VND*), o procedimento explora as vizinhanças denominadas *InvertSol*, *Insert&Saving* e *2-Shift*.

Determinado o limitante superior inicial (melhor solução encontrada) do problema, a árvore de enumeração das soluções possíveis é percorrida em profundidade, existindo apenas duas regras para interromper a exploração de um ramo da árvore.

A primeira regra é se o ramo em análise (solução parcial) possui custo maior ou igual ao custo do limite superior (melhor solução encontrada), ou quando encontramos uma solução que possui custo maior ou igual ao limite superior. Caso o custo da solução encontrada for menor que o custo do limite superior, a melhor solução encontrada é atualizada e se ainda existir ramos em aberto na árvore de solução o algoritmo irá continuar o processo de *branching*.

A segunda e última regra ocorre na verificação se a solução parcial em análise é promissora ou não para solucionar o problema. Essa verificação é realizada a partir de uma função que apura se o custo da solução parcial encontrada até o momento acrescida dos menores custos de qualquer um dos carros disponíveis ir de uma cidade ainda não visitada para qualquer outra cidade é menor que o custo da melhor solução encontrada, se for menor essa solução é promissora, caso contrário o algoritmo realiza a poda.

4. Experimentos e Resultados

O presente tópico desenvolve um experimento computacional com o objetivo de validar o algoritmo exato proposto, e o faz por intermédio de uma comparação de desempenho com os resultados de um algoritmo *backtracking* apresentado no trabalho [Goldberg et al. 2012]. Os experimentos foram executados em uma plataforma Intel Core I5 3.20 GHz, 8GB RAM em Linux com C++, cuja implementação pode ser acessada em: <https://github.com/vitorgodeiro/CaixaViajanteAlugador>. São relatados resultados para **24** instâncias não-euclidianas que se encontram disponíveis em: <http://dimap.ufrn.br/lae/projetos/CaRS.php>. O número de cidades visitadas varia entre **9** e **16** e o número de veículos disponíveis para alugar varia entre **2** e **5**.

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos pelo algoritmo *Branch and Bound* descrito nesse trabalho e os resultados de um algoritmo *backtracking* apresentado no trabalho [Goldberg et al. 2012]. A coluna **Nome** contém o nome da instância que está sendo testada, a coluna **#Cidade** possui o número de cidades da instância em análise, a coluna **#Carro** possui o número de carros disponíveis para alugar na instância em análise, na coluna **T(s)** apresenta o tempo de execução em segundos do algoritmo *Branch and Bound* para o dado caso de teste, a coluna **T(s)'** apresenta o tempo de execução em segundos do algoritmo *backtracking* e a coluna **Opt** apresenta o valor das soluções ótimas.

Tabela 1. Resultados do Branch-and-Bound.

Nome	#Cidade	#Carro	T(s)	T(s)'	Opt
Egito9n	9	4	0,1195	–	610
Bolivia10n	10	3	0,1007	–	681
Etiopia10n	10	4	3,5524	–	666
Mauritania10n	10	2	0,0842	1	571
AfricaSul11n	11	3	8,3306	–	714
Colombia11n	11	2	1,3593	14	639
Mali11n	11	4	33,7877	–	777
Angola12n	12	2	24,6175	144	656
Chade12n	12	4	95,5035	–	930
Niger12n	12	3	17,8579	–	869
Ira13n	13	4	82,5575	–	909
Mongolia13n	13	3	86,7134	–	740
Peru13n	13	2	5,0023	1847	693
Arabia14n	14	5	442,0730	–	1026
BrasilRJ14n	14	2	475,8590	35263	167
Indonesia14n	14	3	307,3620	–	796
Mexico14n	14	4	1788,7200	–	902
Libia14n	14	2	816,5620	28331	760
Argelia15n	15	3	2574,3600	–	863
Congo15n	15	2	81,9783	412212	886
Cazaquistao15n	15	5	2303	–	1043
Sudao15n	15	4	11310,4000	–	1020
Argentina16n	16	2	10745,4000	7612310	894
BrasilRN16n	16	2	1238,2600	7613217	188

O tempo de execução do algoritmo *Branch and Bound* proposto nesse trabalho obteve tempos 5, 11, 6148 vezes menores que os resultados do algoritmo *backtracking*. Adicionalmente podemos observar que a complexidade do problema é seguramente de-

safiadora, pois com um pequeno aumento do número de cidades observamos um grande aumento no tempo de solução.

5. Conclusão

Neste trabalho, propomos uma versão de algoritmo exato baseado no método *Branch and Bound* para o CaRS e realizamos uma comparação com o único trabalho da literatura que apresenta um algoritmo exato para o CaRS.

A comparação com o outro trabalho da literatura demonstrou uma redução expressiva nos tempos de execução para encontrar a solução exata do Caixeiro Alugador, o que sugere que a metodologia proposta foi adequada ao contexto. Portanto estes resultados nos dão confiança para continuar atacando este problema com técnicas de programação matemática como por exemplo *branch-and-cut*, *branch-and-price*, *branch-cut-and-price*, *branch-and-prune*; uma vez que não existem outros estudos experimentais publicados sobre este problema para comparação direta.

Agradecimentos

Ao Programa de Educação Tutorial do Ministério da Educação.

Referências

- Balas, E. and Toth, P. (1983). Branch and bound methods for the traveling salesman problem. Technical Report DRC-70-22-83, Carnegie-Mellon University. Computer science. Pittsburgh (PA US).
- Car (2014). Car Rental Business - Global Strategic Business Report. http://www.researchandmarkets.com/reports/338373/car_rental_business_global_strategic_business. Accessed: 2016-08-29.
- Conrad, C. and Perlut, A. (2006). Enterprise Rent-A-Car Hits New Billion-Dollar revenue mark for 3rd consecutive year. https://www.enterpriseholdings.com/content/dam/ehicom/press-releases/Enterprise_FY06_Sept06.pdf. Accessed: 2016-08-29.
- Goldbarg, M. C., Asconavieta, P. H., and Goldbarg, E. F. G. (2012). Memetic algorithm for the traveling car renter problem: an experimental investigation. *Memetic Computing*, 4(2):89–108.
- Goldbarg, M. C., da Silva, P. H. A., and Goldbarg, E. F. G. (2011). Algoritmos Evolucionários na Solução do Problema do Caixeiro Alugador. chapter 14, pages 301–330.
- Gutin, G. and Punnen, A. P., editors (2002). *The traveling salesman problem and its variations*. Combinatorial optimization. Kluwer Academic, Dordrecht, London.
- Prestes, A. N. (2006). Uma Análise Experimental de Abordagens Heurísticas Aplicadas ao Problema do Caixeiro Viajante. Master's thesis, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Accessed: 2016-09-08.
- Radcliffe, N. J. and Surry, P. D. (1994). *Formal memetic algorithms*, pages 1–16. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.
- Yang, Y., Jin, W., and Hao, X. (2008). Car rental logistics problem: A review of literature. In *2008 IEEE International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics*, volume 2, pages 2815–2819.

Heurísticas de Construção no Problema de Tabela-Horário de Universidades

Renan Costalonga Monteiro¹, Edmar Hell Kampke¹

¹Universidade Federal do Espírito Santo - UFES
Alto Universitário, s/nº - Cx. Postal 16, Guararema – CEP: 29500-000 – Alegre-ES

renanmonteiro@msn.com, edmar.kampke@ufes.br

Abstract. *The University Timetabling Problem is of great importance in the academic environment and it is also a very complex and wearing process. The difficulty is related to finding a solution that meets the needs of the involved parts as best as possible. Due to the elevated amount of constraints, finding a good initial solution is a fundamental stage in the exploration of the solution-searching space. Some constructive heuristic methods can be adapted specifically for the adopted formulation. Therefore, this paper presents some constructive heuristic methods to solve the problem and also evaluates the quality of the built solution.*

Resumo. *O Problema de Tabela-Horário em Universidades (PTHU) possui grande importância no ambiente acadêmico, pois é um processo complexo e desgastante. A dificuldade está relacionada a encontrar uma solução que atenda os anseios dos envolvidos da melhor forma possível. Devido o grande número de restrições impostas, encontrar uma solução inicial de boa qualidade se torna uma etapa primordial na exploração do espaço de busca de soluções. Para o PTHU alguns métodos heurísticos construtivos podem ser adaptados especificamente para a formulação adotada. Portanto, este trabalho apresenta alguns métodos heurísticos construtivos para o PTHU, e avalia a qualidade da solução construída.*

1. Introdução

Os problemas de programação (*scheduling*) são problemas clássicos da área de otimização combinatória, pois lidam com a alocação de recursos, respeitando algumas restrições e maximizando (ou minimizando) uma função matemática. Dentre os problemas de *scheduling*, os Problemas de Tabela-Horário (PTH) possuem destaque.

Segundo [Schaerf 1995] e [Souza et al. 2001], os PTH da área educacional podem ser especificados em três categorias: PTH de Escolas de Ensino Médio, PTH de Universidades e PTH de Exames Finais. O Problema de Tabela-Horário de Universidades (PTHU) consiste em alocar uma sequência de encontros entre professores e alunos em um período prefixado de tempo, satisfazendo a um conjunto de restrições [Souza et al. 2001].

O PTHU possui uma das mais altas complexidades da área de otimização combinatória e esta aumenta à medida em que são adicionadas novas restrições. Segundo [Schaerf 1995] o problema é classificado como NP-Difícil para a maioria das formulações, e assim, uma solução exata só pode ser garantida para instâncias pequenas, o que não corresponde à realidade da maioria das instituições de ensino.

Neste trabalho foi utilizada a terceira formulação proposta pelo *International Timetabling Competition* realizado em 2007 (ITC-2007), conforme descrito em [PATAT 2007]. A principal razão da escolha dessa formulação é que ela possui um conjunto de instâncias que se aproximam da realidade de grande parte das universidades brasileiras, além de ser muito utilizada em outros trabalhos na literatura.

Para encontrar a melhor solução possível, é desejável a satisfação de toda as restrições. Entretanto, nem sempre é possível atendê-las totalmente. Por isso, as restrições são classificadas de acordo com sua importância. De acordo com [Santos and Souza 2007], usualmente são utilizados dois grupos:

- **Restrições Fortes:** Devem ser obedecidas a qualquer custo. O não atendimento de alguma dessas restrições inviabiliza a solução.
- **Restrições Fracas:** A satisfação dessas restrições é desejável, porém, o não atendimento não inviabiliza a solução.

Devido a importância do problema e a dificuldade de se resolvê-lo, existe a necessidade de propor algoritmos com diferentes abordagens, que produzam soluções satisfatórias para o problema em tempo viável, independente do tamanho da instância.

Uma solução viável de qualidade é aquela que minimiza a violação das restrições fracas. A relevância da solução final está estreitamente relacionada com a estratégia de construção adotada para a solução inicial. A partir disso, o propósito deste trabalho é apresentar diferentes abordagens na construção de uma solução inicial para o PTHU e avaliar a qualidade das soluções.

2. Solução Inicial

Na etapa de construção de uma solução inicial para o PTHU podem ser utilizadas diferentes heurísticas construtivas. Nesta seção são apresentadas duas heurísticas propostas na literatura. Ambos os métodos tem como objetivo construir uma tabela-horário (solução) válida e que minimize a violação das restrições fracas.

2.1. Heurística Construtiva Gulosa e Aleatória - HCGA

O método de construção proposto por [Kampke et al. 2015] tem como objetivo produzir soluções viáveis de qualidade, mas também de forma diversificada.

Essa heurística recebe como parâmetro de entrada o conjunto L de aulas a serem alocadas e que irão formar a solução. Partindo de uma tabela-horário s vazia, escolhe-se a aula l ($l \in L$) com menor número de horários viáveis disponíveis. A partir disso, é calculado o custo de alocação de l em todos os *timeslots* (horários e salas) disponíveis.

Uma lista C é formada com os *timeslots* que possuem menor custo de alocação. A quantidade de elementos presentes em C é definida pelo parâmetro α ($0 \leq \alpha \leq 1$), que determina o quanto guloso e aleatório o algoritmo será. Com α próximo de 0, somente os elementos com menor custo são escolhidos para formar C , obtendo assim, soluções de qualidade porém pouco diversificadas. Quando α se aproxima de 1, elementos com maior custo também são escolhidos para entrar em C , resultando assim em soluções variadas e de pouca qualidade.

O *timeslot* em que l será alocada é escolhido aleatoriamente de C . Após isso l é removida de L . O método é executado iterativamente e termina quando L estiver vazia.

[Kampke et al. 2015] implementa também um procedimento denominado *exploração*, que é executado se a aula l não possui nenhum horário disponível para ser alocada. Nesse caso, uma aula já alocada em s é escolhida aleatoriamente, e removida de s para dar espaço para l . A aula removida é então adicionada novamente em L .

2.2. Heurística Construtiva Totalmente Gulosa - HCTG

Descrito por [Lü and Hao 2010], essa heurística tem como propósito a construção de soluções de alta qualidade. Partindo de uma tabela-horário s inicialmente vazia, enquanto existirem aulas ainda não alocadas, são realizadas duas operações distintas: primeiro é escolhida uma aula ainda não alocada e logo após é selecionado um *timeslot* em que será realizada a alocação. As escolhas são feitas seguindo as seguintes definições sobre s :

- $apd_i(s)$: Total de horários livres para uma disciplina i em s .
- $aps_i(s)$: Total de *timeslots* disponíveis para uma disciplina i em s .
- $nl_i(s)$: Total de aulas não alocadas da disciplina i em s .
- $uac_{i,j}(s)$: Total de aulas das disciplinas ainda não alocadas completamente que se tornam indisponíveis para alocação no horário j após a inserção de uma aula da disciplina i no horário j .

Sobre a tabela-horário parcial s , primeiramente é escolhida uma aula não alocada de uma disciplina, de acordo com os seguintes critérios:

1. É escolhida a disciplina com o menor valor de $apd_i(s) / \sqrt{nl_i(s)}$.
2. No caso da existência de múltiplas disciplinas com o mesmo valor, é escolhida a disciplina com o menor valor de $aps_i(s) \sqrt{nl_i(s)}$.
3. Se ainda persistir a ocorrência de mais de uma disciplina com o menor valor, é escolhida a disciplina com maior valor de $conf_i$, sendo $conf_i$ o número de disciplinas que compartilham estudantes ou professores com a disciplina i . Se por fim ainda houver empates, é resolvido seguindo a ordem alfabética do nome da disciplina.

Após a escolha da disciplina i , escolhe-se o *timeslot* em que a aula selecionada l_i será inserida. Para isso, é escolhido o horário j e sala k com o menor valor da função $g(j,k)$, sendo:

$$g(j, k) = k_1 \times uac_{i,j}(s) + k_2 \times \Delta f_s(i, j, k) \quad (1)$$

Em que $\Delta f_s(i, j, k)$ representa o valor da penalidade das restrições fracas sobre a possível alocação da aula l_i no horário j e sala k . Os pesos k_1 e k_2 são relativos as restrições fortes e fracas, respectivamente, e $uac_{i,j}(s)$ representa o número de aulas das disciplinas ainda não totalmente alocadas, que se tornam inviáveis para alocação no horário j após a possível inserção da aula l_i no horário j e sala k .

3. Conclusões

Este trabalho apresentou dois métodos heurísticos construtivos distintos para o PTHU. Testes computacionais com as instâncias utilizadas no ITC-2007 foram realizados para avaliar qualidade das soluções construídas. Ambos os métodos foram testados para todas as instâncias, utilizando $\alpha = 0.5$ para obter soluções parcialmente aleatórias e gulosas na execução da HCGA e $k_1 = 1.0$ e $k_2 = 0.5$ na execução da HCTG.

Na maior parte das instâncias a solução construída pela heurística HCTG, proposta por [Lü and Hao 2010], teve qualidade superior. Na execução dos métodos, para a maior instância disponível, HCTG apresentou desempenho médio 36% superior a HCGA.

Analisando o comportamento dos algoritmos, nota-se que ambas heurísticas levam em consideração as penalidades das restrições fracas durante a escolha da aula a ser alocada. No entanto, a heurística HCTG, adicionalmente leva em consideração o impacto que a possível alocação terá, na tabela-horário parcialmente construída, em iterações futuras. Assim a heurística HCTG evita o cenário em que uma aula ainda não alocada ficará sem horários viáveis para a alocação nas próximas iterações. Com isso, não há necessidade da criação do procedimento de *explosão*, implementado em HCGA.

Vale ressaltar que o procedimento *explosão* garante que as soluções construídas pela HCGA serão viáveis, enquanto que as soluções construídas pelo HCTG não possuem essa garantia. Apesar disso, os testes computacionais demonstram que a heurística HCTG constrói soluções viáveis para todas as instâncias de teste do ITC-2007.

Dessa forma, esse trabalho apresentou duas heurísticas de construção de soluções para o PTHU, mostrando as principais diferenças entre elas, inclusive em termos de qualidade da solução construída. A partir disso, como trabalho futuro, será possível combinar essas heurísticas com métodos de busca local na intenção de encontrar soluções de maior qualidade.

Agradecimento: Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo - FAPES (processo 67656021/2014) pelo apoio financeiro.

Referências

- Kampke, E. H., de Souza Rocha, W., Boeres, M. C. S., and Rangel, M. C. (2015). A grasp algorithm with path relinking for the university courses timetabling problem. *Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics*, 3(2).
- Lü, Z. and Hao, J.-K. (2010). Adaptive tabu search for course timetabling. *European Journal of Operational Research*, 200(1):235–244.
- PATAT (2007). International timetabling competition. URL: <http://www.cs.qub.ac.uk/itc2007>.
- Santos, H. G. and Souza, M. J. F. (2007). Programação de horários em instituições educacionais: Formulações e algoritmos. In *Anais do XXXIX SBPO-Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, number 1, pages 2827–2882.
- Schaerf, A. (1995). A survey of automated timetabling. *Artificial Intelligence Review*, 13:87–127.
- Souza, M. J. F., Maculan, N., and Ochi, L. S. (2001). A grasp-tabu search algorithm to solve a school timetabling problem. In *Proceedings of The Fourth Metaheuristics International Conference (MIC2001)*, pages 53–58.

Representação de Sinais da Língua Brasileira de Sinais (LIBRAS) em Autômatos Finitos

Eric Macedo Cabral¹, Patrick H. S. Brito¹

¹ Núcleo de Ciências Exatas (Ncex)

Universidade Federal de Alagoas (UFAL) – Arapiraca - Alagoas

eric.cabral@arapiraca.ufal.br, patrick@ic.ufal.br

Abstract. *The inability of communicating causes a series of psychological and cognitive consequences in the Deaf's life, he isolates himself for not being able of understanding and be understood. The emergence of the sign languages changed this reality, the Deaf began to have a way of communicating and producing knowledge. Nowadays, the sign languages evolved and received the title of Language. Losing the erroneous conception of being disorderly and primitive gestures. These (Sign Languages) have the same linguistics characteristics of the oral languages. This article's goal is to demonstrate and reproduce these linguistics characteristics in an abstract mathematical model, in order to use it as a animation generation structure at runtime.*

Resumo. *A incapacidade de comunicar-se causa uma série de consequências psicológicas e cognitivas na vida do Surdo, este isola-se por não poder compreender e ser compreendido. O surgimento das línguas de sinais mudou essa realidade, os Surdos passaram a ter uma forma de comunicar-se e de produzir conhecimento. Hoje, as línguas de sinais evoluíram e receberam o título de Línguas. Perdendo assim a errônea concepção de serem gestos desordenados, primitivos. Estes possuem as mesmas características linguísticas das línguas orais. É objetivo deste trabalho demonstrar e reproduzir essas características linguísticas em um modelo matemático, a fim de utilizá-lo no desenvolvimento de uma estrutura de geração de animações em tempo de execução.*

1. Introdução

A comunicação é algo imprescindível para a vida em sociedade e para o adequado desenvolvimento das habilidades cognitivas. A existência de deficiências e condições adversas prejudica o desenvolvimento pessoal e coletivo de pessoas que sofrem dessas condições físicas, psicológicas ou cognitivas.

A comunidade Surda superou a barreira criada por sua condição por meio da sinalização, a qual evoluiu a ser considerada uma Língua. Cada região possui sua própria língua de sinais local, nos Estados Unidos predomina a ASL (American Sign language), no Brasil predomina a LIBRAS (Língua Brasileira de Sinais).

As línguas de sinais possuem todas as características e propriedades que configuram uma linguagem natural, como pode ser observado nos trabalhos de Stokoe [STOKOE 1960]. Os cinco principais aspectos de uma linguagem natural são: Itens fonéticos, modificadores morfológicos, estrutura sintática, valor semântico e contexto

pragmático. As línguas de sinais possuem todos esses aspectos representados por sinais espaciais ordenados (Gestos) [BRITO 1995].

A proposta deste trabalho parte do mapeamento dos parâmetros linguísticos das línguas de sinais em um modelo matemático de autômatos finitos determinísticos (Grafos Direcionados) utilizados como máquinas de estado para a estruturação e representação de sinais em línguas de sinais em animações vetoriais geradas em tempo de execução. A característica paramétrica das línguas de sinais permite que seus aspectos linguísticos possam ser quantificados em valores discretos que combinados formam um sinal dotado de sentido semântico e sintático.

Derdardi [DENARDI 2006], apresentou um modelo similar que valida o conceito de mapeamento de parâmetros linguísticos em uma estrutura de autômatos finitos.

Por meio do Falibras¹, tradutor de português para LIBRAS (software de licença de código livre desenvolvido pela Universidade Federal de Alagoas) o sistema envia textos em português e recebe como resposta uma estrutura de dados contendo dados linguísticos que são mapeados para o sistema de máquinas de estados que controla as animações.

2. Gerador de Animações em Tempo de Execução

Por meio de autômatos finitos para a definição de uma estrutura de máquinas de estados, onde cada estado configura um item fonético da LIBRAS; Técnicas de computação gráfica para realização de modificações morfológicas; E a plataforma oferecida pela engine de desenvolvimentos de jogos, Unity Engine², é possível processar e sintetizar esses dados linguísticos em sinais animados.

Utilizando do tradutor Falibras que traduz do português para glosas em LIBRAS, o sistema proposto neste trabalho possibilita a tradução de sentenças em português, em sentenças em LIBRAS animadas por um modelo 3D humanoide.

2.1. Máquinas de Estados

Tendo como base a característica paramétrica da língua de sinais, este trabalho propõe uma arquitetura baseada em máquinas de estados onde cada um dos parâmetros gramaticais da língua de sinais é representado por uma máquina de estados; E cada item fonológico de cada categoria morfológica é um estado de sua respectiva máquina de estado. Ao concatenar itens fonológico, um sinal em língua de sinais é produzido.

A língua de sinais utilizada na produção do modelo conceitual foi a LIBRAS, porém a característica abstrata do modelo apresentado possui potencial escalável para qualquer língua de sinais, dado que a única variável entre as línguas de sinais são as combinações dos fonemas.

2.1.1. Implementação

Na Unity Engine, uma máquina de estados possui o conceito de camada, o sistema pode ter múltiplas camadas (Múltiplas máquinas de estados). As camadas podem ser ligadas

¹<http://www.falibras.org/>

²<https://unity3d.com/>

diretamente a uma região específica no corpo do modelo 3D humanoide, que no caso desse sistema, existem seis camadas: Configurações de mão (Direita e esquerda); Pontos de articulação (Direito e esquerdo); Direção; Expressões não-manuais.

Os outros aspectos do sinal (Velocidade e movimento), são obtidos pela manipulação e combinação dos estados nas máquinas de estados. Os estados numa camada correspondem aos arquivos de animações que o modelo possui. O controle da máquina de estados é realizado pela API de controle do sistemas Mecanin da Unity Engine, onde a estrutura lógica das máquinas de estados é definida no próprio Unity Engine, por meio de uma ferramenta gráfica de estrutura de grafos direcionados.

2.1.2. Estrutura linguística mapeada em múltiplas máquinas de estados

A representação de um conjunto de item fonético em um estado de uma máquina de estados, torna o sistema de máquinas de estados numa estrutura geradora de sinais. Similar ao que acontece com a definição de uma gramática numa linguagem natural, onde um alfabeto, um conjunto de regras de produção e uma sintaxe, possibilitam a criação de séries de palavras (Sentenças).

A forma mais simples de formação de um sinal dá-se pela combinação de estados de uma ou mais camadas do sistema de máquinas de estados, o qual forma um fonema (Correspondente a uma sílaba numa língua oral). No sistema, a representação formal para um sinal é uma lista ordenada de oito elementos:

$$Sinal = [float, int, int, int, int, int, int, int]$$

A lista de elementos que configuram um sinal simples consiste de um número de ponto flutuante normalizado que define a velocidade de execução; Um número inteiro de repetição; Seis inteiros ordenados, sendo cada posição do arranjo correspondente a uma camada da máquina de estados.

A formação de sinais compostos dá-se pela concatenação de sinais simples, processo conhecido como justaposição na linguística; Ou pela modificação de sinais simples ou outros sinais compostos, na linguística, esse processo é chamado de aglutinação. Ambos processos são reproduzidos por meio das manipulação da estrutura de lista ordenada apresentada anteriormente: Uma lista ordenada de listas de sinais:

$$Sinais = [Sinal[], Sinal[], Sinal[]]$$

O sinal ESCOLA é composto pelos sinais CASA e ESTUDAR. Então um sinal pode ser definido por um sinal apenas ou por uma sequência de sinais ordenados.

$$ESCOLA = [CASA[], ESTUDAR[]]$$

2.2. Geração de Sinais Animados

O sistema possui as características de um autômato finito, onde este só possui informação do seu estado atual e dos estados que ele pode assumir [HOPCROFT 2002], portanto, as

animações geradas são transiêntes e não persistentes.

Animações são geradas a partir de dados espaciais e temporais. Esses dados são referentes a posição espacial de pontos no espaço cartesiano (Keyframe) em um determinado instante dentro de um intervalo de tempo definido (Timeline).

2.2.1. Representação de itens fonéticos

Como um item fonético é um componente estático, este pode ser representado por um keyframe, que consiste da representação espacial de um modelo 3D sinalizando o determinado item fonético. Cada um desses keyframes é um estado de uma das máquinas de estados. As combinações de dois ou mais destes itens formam um fonema.

2.2.2. Compositor Morfológico

Um morfema é a unidade mínima dotada de sentido (Corresponde a uma palavra numa língua oral), este é constituído de fonemas organizados em série, de forma que estes sobrepõem-se ou sucedem-se. Portanto, é uma estrutura dinâmica.

Para tornar a sinalização um gesto natural e contínuo, os keyframes do estado atual são interpolados com os keyframes do estado que a máquina irá assumir. Onde a interpolação é uma operação que calcula uma série de quadros intermediários num intervalo contínuo entre o keyframe inicial e o final.

Portanto, os processos morfológicos de justaposição e aglutinação são obtidos por meio da interpolação dos dados do estado atual pelo estado final da máquina de estados.

3. Considerações Finais

O desenvolvimento de uma estrutura de geração de sinais baseada em métodos formais linguísticos representados em um modelo matemático abstrato, torna a sinalização um processo quantificável e decomponível à estruturas paramétricas básicas que podem ser manipuladas e estudadas. Agregando um potencial totalmente escalável para qualquer língua de sinais ser representada pelo modelo.

References

- BRITO, L. (1995). *Por Uma Gramática de Línguas de Sinais*. Tempo Brasileiro, Rio de Janeiro.
- DENARDI, R. (2006). *Aga-sign: Animador de gestos aplicado à língua de sinais*. Master's thesis, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Informática, Porto Alegre.
- HOPCROFT, J. (2002). *Introdução à Teoria de Autômatos, Linguagens e Computação*. Editora Campus, Rio de Janeiro.
- STOKOE, W. (1960). *Sign and Culture: A Reader for Students of American Sign Language*. Listok Press, Silver Spring, MD.

PMIH: Poliedro Maximal de Vértices em \mathbb{Z}^n Inscrito em uma Hiperesfera em \mathbb{R}^n

Eleazar Gerardo Madriz Lozada¹, Yuri Tavares dos Passos¹, Tales Raian Ribeiro Maltez²

¹CETEC – UFRB
Cruz das Almas – BA – Brazil

²IMECC – UNICAMP
Campinas – SP – Brazil

eleazar@ufrb.edu.br, yuri.passos@ufrb.edu.br, talesmaltez2003@hotmail.com

Abstract. *In this work we present an algorithm to construct a polyhedron inscribed in a hypersphere in \mathbb{R}^n with vertices in \mathbb{Z}^n such that between the hypersphere and the polyhedron there are no points in \mathbb{Z}^n .*

Resumo. *Neste trabalho apresentamos um algoritmo para construir um poliedro de vértices em \mathbb{Z}^n , inscrito em uma hiperesfera em \mathbb{R}^n tal que entre a hiperesfera e o poliedro não existam elementos de \mathbb{Z}^n .*

Introdução

A teoria de poliedros deriva-se da teoria de programação linear inteira [Schrijver 1986], quando é considerado o conjunto de soluções factíveis deste problema. Considerando o fecho convexo do conjunto de soluções factíveis deste problema [Rockafellar 1997] obtém-se um poliedro que é a interseção de um número finito de subespaços afins. No caso em que o fecho convexo seja um conjunto limitado, é possível obter-lho a partir das combinações convexas de um subconjunto finito de soluções factíveis. A primeira representação é conhecida como implícita e a segunda, como gerada pelos vértices [Motzkin et al. 1953]. Em geral, o poliedro pode ser decomposto como a soma de um politopo e um cone convexo [Schrijver 1986].

Neste trabalho, para $g \in \mathbb{Z}^n$ consideraremos a $C_g = \{x \in \mathbb{R}^n; \|x\| \leq \|g\|\}$ onde $\|\cdot\|$ denota a norma euclidiana em \mathbb{R}^n . De fato no interior de C_g existe uma quantidade finita de subconjuntos \mathbb{Z}^n , e assim, se consideramos o fecho convexo de cada um destes subconjuntos, teremos a família de todos os poliedros que estão inscritos em C_g .

O objetivo deste trabalho é descobrir qual destes poliedros verifica a seguinte propriedade: a interseção entre o interior da C_g e o complemento do poliedro não tem elementos em \mathbb{Z}^n . Para o caso $n = 2$, o problema foi resolvido em [Maltez and Lozada 2015] e [Maltez 2016].

O Problema do Poliedro Maximal Inscrito numa Hiperesfera (PMIH)

Dado $g \in \mathbb{Z}^n$, seja $C_g = \{x \in \mathbb{R}^n; \|x\| \leq \|g\|\}$ onde $\|\cdot\|$ denota a norma euclidiana em \mathbb{R}^n e para V um subconjunto não vazio finito de \mathbb{Z}^n , o fecho convexo de V será denotado com $FC(V)$. De fato, para todo $g \in \mathbb{Z}^n$, o conjunto $C_g \cap \mathbb{Z}^n$ é não vazio e finito. Seja

$V \subset C_g \cap \mathbb{Z}^n$ consideremos $f : P(C_g \cap \mathbb{Z}^n) \rightarrow \mathbb{N}$ definido como a quantidade de elementos que estão em C_g , não estão em $FC(V)$ e estão em \mathbb{Z}^n , isto é

$$f(V) = |(C_g - FC(V)) \cap \mathbb{Z}^n| \quad (1)$$

onde “-” denota a diferença entre conjuntos, $|\cdot|$ representa a cardinalidade de um conjunto e para um conjunto S , $P(S) = \{A : A \subset S\}$. Neste trabalho estudamos o seguinte problema de otimização combinatória:

$$\begin{aligned} & \min f(V) \\ \text{sujeito a: } & V \in P(C_g \cap \mathbb{Z}^n) \end{aligned} \quad (2)$$

A restrição garante que o poliedro associado à solução ótima é maximal em relação a que entre a hipersfera e o complemento do poliedro não há elementos em \mathbb{Z}^n . Por isto o chamaremos de problema de Poliedro Maximal Inscrito numa Hipersfera (*PMIH*). Agora, seja $B(g, n)$ o bloco $[-\lfloor \|g\| \rfloor, \lfloor \|g\| \rfloor]^n$, onde $\lfloor \cdot \rfloor$ denota a parte inteira inferior. Como $C_g \cap \mathbb{Z}^n \subset B(g, n) \cap \mathbb{Z}^n$, a cardinalidade de $C_g \cap \mathbb{Z}^n$ é menor ou igual que $(2\lfloor \|g\| \rfloor + 1)^n$, assim, temos $|C_g \cap \mathbb{Z}^n| \leq (2\lfloor \|g\| \rfloor + 1)^n$. Por outro lado, seja $H = \partial B(g, n) \cap C_g$, onde $\partial B(g, n)$ é a fronteira de $B(g, n)$. Como $FC(H) \cap \mathbb{Z}^n \subset C_g \cap \mathbb{Z}^n$, temos que

$$|FC(H) \cap \mathbb{Z}^n| \leq |C_g \cap \mathbb{Z}^n| \leq (2\lfloor \|g\| \rfloor + 1)^n. \quad (3)$$

Assim, temos que $2^{|FC(H) \cap \mathbb{Z}^n|} \leq 2^{|C_g \cap \mathbb{Z}^n|} \leq 2^{(2\lfloor \|g\| \rfloor + 1)^n}$. A partir desta desigualdade, podemos afirmar que o problema do *PMIH* pode ser resolvido no pior caso usando força bruta em $O(2^{(2\lfloor \|g\| \rfloor + 1)^n})$. A motivação central deste trabalho é obter o fecho convexo dos pontos em \mathbb{Z}^n que satisfazem a restrição em (2) por meio de um algoritmo de ordem de tempo de execução menor que $O(2^{(2\lfloor \|g\| \rfloor + 1)^n})$.

Algoritmo

As entradas do Algoritmo 1 são $n \in \mathbb{N}^*$, a dimensão onde está a hipersfera, e $g \in \mathbb{Z}^n$ um ponto que define o raio $r = \|g\| > 0$ da hipersfera. A saída do Algoritmo 1 é um conjunto dos pontos em \mathbb{Z}^n mais próximos da hipersfera que define C_g .

Cada um destes pontos será implementado por uma tupla, cuja dimensão cresce à medida que novas dimensões forem inseridas. Inicialmente, cada tupla tem dimensão 1 e será representada por (k) , onde $k \in \mathbb{Z}$. A dimensão de uma tupla pode ser incrementada da seguinte forma. Seja I uma tupla de dimensão $n - 1$ tal que $I = (i_1, i_2, \dots, i_{n-1})$. Acrescenta-se uma coordenada em I , simbolizada no Algoritmo 1, por (I, k) , para um valor qualquer $k \in \mathbb{Z}$. O resultado deste acréscimo será $I = (i_1, i_2, \dots, i_{n-1}, k)$. Uma tupla, portanto, pode ser implementada com uma lista encadeada. No Algoritmo 1, a saída está implementada como uma deque de tuplas. Dado $\mathbf{x} = (x_1, \dots, x_{n-1}) \in \mathbb{Z}^{n-1}$, o *resíduo de norma inteiro* é o maior inteiro s tal que $\|(\mathbf{x}, s)\| = \|(x_1, \dots, x_{n-1}, s)\| \leq r$. Em outras palavras, o resíduo de norma inteiro define o maior valor inteiro que se permite inserir na tupla \mathbf{x} sem aumentar a norma de (\mathbf{x}, s) além do valor r . Para a norma euclidiana, o resíduo de norma inteiro é dado por $s = \pm \lfloor \sqrt{r^2 - \|\mathbf{x}\|^2} \rfloor$. A ideia de resíduo de norma inteiro pode ser definida usando qualquer norma e assim o Algoritmo 1 pode ser adaptado para bolas n -dimensionais definidas com outra norma, basta mudar a equação do resíduo de norma inteiro na linha 15 do Algoritmo 1. O Algoritmo 1 inicialmente verifica o caso trivial, isto é, quando $n = 1$, e executa apenas as linhas 3 e 4, pois a iteração da

```

Entrada:  $n \in \mathbb{N}^*, g \in \mathbb{Z}^n$ 
Saída:  $R = \{x \in \mathbb{Z}^n : r - 1 < \|x\| \leq r\}$ 
1 Inicialize uma deque  $R$  vazia;
2 se  $n = 1$  então
3   | Adicione a  $R$  a tupla  $(-\lfloor r \rfloor)$ ;
4   | Adicione a  $R$  a tupla  $(\lfloor r \rfloor)$ ;
5 senão
6   | para  $k \leftarrow -\lfloor r \rfloor$  até  $\lfloor r \rfloor$  faça
7   |   | Adicione a  $R$  a tupla  $(k)$ ;
8   | fim
9 fim
10 para  $i \leftarrow 2$  até  $n$  faça
11   | Atribua a  $Rl$  o tamanho atual de  $R$ ;
12   | para  $j \leftarrow 1$  até  $Rl$  faça
13   |   | Atribua a  $I$  a tupla no topo de  $R$  e desempilhe-a de  $R$ ;
14   |   |  $l \leftarrow \|I\|$ ;
15   |   |  $s \leftarrow \lfloor \sqrt{r^2 - l^2} \rfloor$ ;
16   |   | se  $n = i$  então
17   |   |   | se  $s \neq 0$  então
18   |   |   |   | Adicione no final da deque  $R$  a tupla  $(I, -s)$ ;
19   |   |   |   | Adicione no final da deque  $R$  a tupla  $(I, s)$ ;
20   |   |   | senão
21   |   |   |   | Adicione no final da deque  $R$  a tupla  $(I, s)$ ;
22   |   |   | fim
23   |   | senão
24   |   |   | para  $k \leftarrow -s$  até  $s$  faça
25   |   |   |   | Adicione no final da deque  $R$  a tupla  $(I, k)$ ;
26   |   |   | fim
27   |   | fim
28   | fim
29 fim

```

Algoritmo 1: Lista os pontos inteiros internos a uma esfera n -dimensional mais próximos da sua superfície.

linha 10 a 29 não é executada neste caso. Para o laço externo nas linhas 10 a 29, tem-se o seguinte invariante de laço [Cormen 2009]

$$(2 \leq i < n \implies R = \{(\mathbf{x}, k) \in \mathbb{Z}^{i-1} : \|(\mathbf{x}, k)\| \leq r \wedge k \in \{-s, -s+1, \dots, s-1, s\} \wedge s \text{ é resíduo de norma inteiro de } \mathbf{x}\}) \wedge (i \geq n \implies R = \{\mathbf{x} \in \mathbb{Z}^n : r - 1 < \|\mathbf{x}\| \leq r\}).$$

Este invariante se mantém nas três fases do laço. Na **inicialização**, após a atribuição $i \leftarrow 2$, tem-se que $R = \{k \in \mathbb{Z} : \|(k)\| \leq r \wedge k \in \{-s, -s+1, \dots, s-1, s\}\}$ devido a execução prévia das linhas 6 a 8. Na **manutenção**, o laço das linhas 12 a 28 adiciona uma coordenada a mais em cada elemento de R . Cada elemento de R com dimensão $i - 1$ será removido (linha 13) para serem adicionados novos elementos em R com dimensão i . O resíduo de norma inteiro para este elemento removido é calculado

na linha 15. Os valores a serem adicionados na tupla dependem do valor de i , testado na condição da linha 16. Se $i \neq n$, as linhas de 24 a 26 são executadas e, portanto, após a linha 28, $R = \{(\mathbf{x}, k) \in \mathbb{Z}^i : \|(\mathbf{x}, k)\| \leq r \wedge k \in \{-s, -s + 1, \dots, s - 1, s\}\}$. Se $i = n$, as linhas 16 a 22 são executadas e tem-se $R = \{\mathbf{x} \in \mathbb{Z}^n : r - 1 < \|\mathbf{x}\| \leq r\}$. Quando i é incrementado na linha 29, o invariante se mantém. No **término**, tem-se que $i = n + 1$. O invariante é verdadeiro devido ao segundo condicional. Assim, implica-se que $R = \{\mathbf{x} \in \mathbb{Z}^n : r - 1 < \|\mathbf{x}\| \leq r\}$. Quando $n = 1$, o algoritmo executa em tempo constante as adições de apenas dois elementos na deque. Para $n > 1$, a complexidade do algoritmo quanto à adições de elementos em R é dada por:

$$\underbrace{2\lfloor r \rfloor + 1}_{\text{linhas 6 a 8}} + \underbrace{E(j)|R_{n-1}|}_{\text{linhas 16 a 22}} + \underbrace{\sum_{i=2}^{n-1} \sum_{j=1}^{|R_{i-1}|} \left(2 \left\lfloor \sqrt{r^2 - \|I_j\|^2} \right\rfloor + 1 \right)}_{\text{linhas 24 a 26}}, \quad (4)$$

com R_i representando a deque de dimensão i , I_j denotando a tupla j existente na deque R_i e $E(j) = 1$ se para $\|I_j\|$, $s = 0$ na linha 15 e $E(j) = 2$, caso contrário. Os valores de $\|I_j\|$ são limitados por r e o tamanho de cada R_i é limitado por $(2\lfloor r \rfloor + 1)^i$, devido à Equação 3. Assim, o algoritmo executa em tempo $O(r^{n-1})$.

A solução do problema *PMIH* é obtida usando a saída do Algoritmo 1 como entrada do algoritmo proposto em [Chazelle 1993] para retornar o fecho convexo destes pontos. Este algoritmo roda em $O(r^{n-1} \log r^{n-1} + r^{(n-1)\lfloor n/2 \rfloor})$.

Referências

- Chazelle, B. (1993). An optimal convex hull algorithm in any fixed dimension. *Discrete & Computational Geometry*, 10:377–409.
- Cormen, T. H. (2009). *Introduction to algorithms*. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts; London.
- Maltez, T. R. R. (2016). Polígono inscrito em uma circunferência sem pontos z_2 entre a circunferência e o polígono. Monografia (Bacharel em Ciências Exatas e Tecnológicas), UFRB (Universidade Federal do Recôncavo da Bahia), Cruz das Almas, Brasil.
- Maltez, T. R. R. and Lozada, E. G. M. (2015). Uma ferramenta dinâmica de geogebra para o estudo de polígonos não regulares inscritos em uma circunferência. In *III Reconcitec*.
- Motzkin, T., Raiffa, H., Thompson, G. L., and Thrall, R. M. (1953). The double description method. In Kuhn, H. W. and Tucker, A. W., editors, *Contributions to the Theory of Games II*. Princeton University Press.
- Rockafellar, R. (1997). *Convex Analysis*. Princeton landmarks in mathematics and physics. Princeton University Press.
- Schrijver, A. (1986). *Theory of Linear and Integer Programming*. John Wiley and Sons, Inc., New York, NY, USA.

Autômatos celulares para reconhecimento de padrões

Hallefy Ferreira¹, Núbia Rosa da Silva¹

¹Instituto de Biotecnologia – Universidade Federal de Goiás (UFG)
Av. Dr. Lamartine Pinto de Avelar, 1200 – 75704-020 – Catalão – GO – Brazil

{hallefy.fc,nubiasrosa}@gmail.com

Abstract. *Cellular automata has been used in several tasks, such as the classification task. This is because the ease of implementation, and based on few rules we can obtain great results, as compared with other classification methods. This paper has the objective utilize cellular automata to classify the dataset IRIS, and compare their results with an algorithm widely used in the classification task, KNN. Our proposed method obtained a classification rate of 96,6%.*

Resumo. *Autômatos celulares vem sendo utilizados em várias tarefas, como por exemplo, classificação. Isso acontece devido a facilidade de implementação, e a partir de poucas regras pode-se obter bons resultados, quando comparado a outros métodos. Este trabalho tem como objetivo utilizar autômatos celulares para efetuar a classificação da base de dados IRIS, e comparar seus resultados com um algoritmo muito usado na tarefa de classificação, o KNN. O algoritmo proposto no artigo obteve uma taxa de classificação de 96,6%.*

1. Introdução

Um autômato celular (CA – *Cellular Automata*) é um modelo matemático discreto com uma população de células que evolui a cada geração a partir de uma regra de transição [Chopard and Droz 1998]. John Horton Conway, um matemático britânico, desenvolveu em 1970 um importante trabalho para a época, quando se fala em autômato celular o exemplo mais comum é o jogo da vida, desenvolvido por ele [Adamatzky 2010]. No jogo da vida uma célula morre se possui menos de dois vizinhos ou se possui mais de três vizinhos. Uma célula morta com três vizinhos se torna uma célula viva e se uma célula viva possui exatamente dois ou três vizinhos, a célula continua viva.

Autômatos celulares estão presentes em diversas áreas como biologia, finanças, processamento de imagens, computação paralela, simulações de situações reais, como por exemplo, determinar a forma como um certo tipo de vírus pode se espalhar em determinada região, simular a propagação de um incêndio em florestas ou realizar um estudo sobre a expansão dos centros urbanos [Chandra and Vidushi 2012, Fu and Milne 2003, Tian et al. 2016]. Neste contexto, o principal objetivo deste trabalho é empregar os conceitos de autômatos celulares para reconhecimento de padrões, classificando amostras de acordo com suas características. Pode-se definir classificação como a tarefa de classificar ou dispor dados em determinadas classes, através da extração de informação ou conhecimento de uma base de dados. A metodologia consiste em analisar os vizinhos da célula para realizar a tarefa de classificação. Uma modificação muito importante foi feita na regra de Moore para que o autômato considere o seu estado atual para a classificação pois o estado atual da célula possui alta relevância para definir o seu próximo estado. Para verificar a potencialidade da metodologia, a base de dados IRIS [Lichman 2013] será utilizada nos experimentos.

2. Autômatos celulares

De acordo com John von Neumann [Von Neumann et al. 1966], um autômato celular pode ser definido como um modelo capaz de se auto-reproduzir a partir de regras definidas.

Definição I. Um autômato é formado pela 5-tupla $(\alpha, \beta, \gamma, \delta, \Theta)$, onde:

- (i) α é um conjunto finito de estados;
- (ii) β é um conjunto finito de símbolos;
- (iii) γ é uma função de transição;
- (iv) δ é o estado inicial do autômato, antes de ser aplicada uma função de transição sobre determinada célula, onde $\delta \in \alpha$;
- (v) Θ é um conjunto de estados de α , chamados também de estados de aceitação.

Em CA existem algumas definições de vizinhos, as mais utilizadas são as definições de vizinhança de von Neumann e Moore [Wolfram 1983]. Em uma tesselação 2d, a definição de von Neumann consiste em verificar os estados de suas células vizinhas que estão ao norte, sul, leste e oeste, já a definição de Moore acrescenta a possibilidade de verificar o estado das células que estão a nordeste, sudeste, sudoeste e noroeste. Para o desenvolvimento do CA utilizado neste artigo, a definição de Moore foi indicada por obter uma boa precisão na tarefa de classificação.

3. Autômatos celulares como classificador

O algoritmo desenvolvido tem como base as análises feitas em [Adwan et al. 2013, Fawcett 2008], onde verifica-se o estado de cada célula na vizinhança de Moore para classificar a célula atual como pertencente a uma determinada classe. Neste trabalho, todos os vizinhos incluindo o centro são considerados para a mudança de estado da célula para uma transição do tempo t para o tempo $t + 1$. Logo, para classificar o estado das células na próxima geração, uma regra de transição é definida para determinar como o autômato irá se comportar.

- Regra de transição de cada célula:
 - 0 : Se a soma dos vizinhos de cada classe for igual;
 - A : Se o número de vizinhos de classe A é maior;
 - B : Se o número de vizinhos de classe B é maior;
 - C : Se o número de vizinhos de classe C é maior;
 - X : Se o número de vizinhos são iguais.

4. Experimentos e resultados

A base dados utilizada para a realização do experimento foi a base de dados IRIS [Lichman 2013], que possui 3 classes de flores, sendo elas: setosa, versicolor e virgínica (A , B e C , respectivamente). Cada classe possui 50 instâncias resultando em 150 instâncias. Cada flor é composta por 4 características: comprimento da pétala, largura da pétala, comprimento da sépala e largura da sépala. O CA foi implementado na linguagem C em duas dimensões. Devido a base de dados IRIS possuir quatro características, duas matrizes bidimensionais foram construídas, onde uma matriz possui relação com as características da pétala e a outra matriz com características da sépala. Para realizar a classificação foram utilizadas as duas matrizes, onde se verifica o número de vizinhos de cada célula e a partir da regra de transição é feita a classificação. As Figuras 1(a) e 1(b) representam a distribuição das classes que foram classificadas pelo autômato desenvolvido.

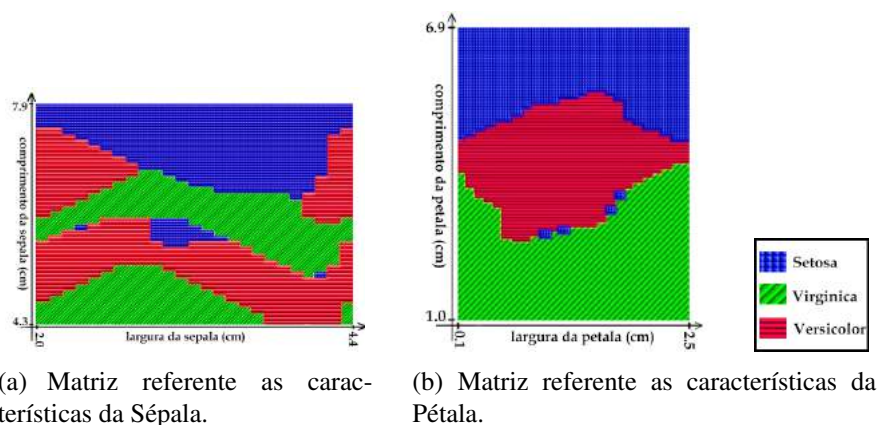


Figure 1. Distribuição das classes de acordo com o CA desenvolvido utilizando em (a) as características da sépala e em (b) as características da pétala.

O conjunto de dados foi dividido em treinamento e teste utilizando a técnica *k-fold cross-validation*, que consiste em dividir o conjunto em *k folds*, onde cada *fold* contém um número balanceado de amostras de cada classe. A base de dados IRIS possui 50 amostras para cada uma de suas três classes de espécies de flores, resultando em 10 folds contendo 15 amostras cada. Com o conjunto de treinamento preparado, um *fold* é selecionado para ser o conjunto de teste e os outros $k - 1$ *folds* formarão o conjunto de treinamento, no qual o autômato é treinado. Esse procedimento é feito para cada um dos folds. O método KNN foi utilizado para comparação dos resultados juntamente com o algoritmo proposto em [Ahangaran et al. 2017] denominado de *Cellular learning automata* (CLA), pois utilizam conceitos semelhantes de vizinhança para determinar um novo estado para a célula, o algoritmo CLA obteve 95% de precisão. Os parâmetros para o KNN foram $K = 1$ e distância euclidiana.

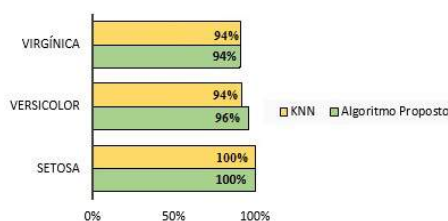


Figure 2. Resultados ao comparar a metodologia proposta e o método KNN.

Ao utilizar a metodologia proposta, uma taxa de classificação de 96,6% foi atingida (Figura 2). O algoritmo de classificação *k*-Nearest Neighbor (KNN) obteve 96% de acerto utilizando o mesmo esquema de validação. Nota-se que o modelo proposto conseguiu melhores resultados do que o KNN onde na classe setosa a taxa de classificação ficou igual em ambos algoritmos: 100%. Já nas outras classes versicolor e virgínica, houve uma diferença na taxa de classificação, onde o algoritmo proposto neste artigo se mostrou superior, obtendo uma taxa de classificação na classe versicolor de 96% contra 94% do KNN, e na classe virgínica obteve uma taxa de 94%, superando os 94% do KNN.

5. Conclusões

O objetivo deste trabalho foi desenvolver um autômato celular que pudesse realizar tarefas de classificação, para isso, a base de dados IRIS foi utilizada para realizar os experimentos e com os resultados, pode-se perceber que autômatos celulares possuem uma vasta gama de aplicação seja na área de ciência da computação como biologia, economia e áreas afins. Como projetos futuros temos como objetivo fazer a fusão de mineração de dados e autômatos para conseguir extrair informações, comportamentos ou regras de um determinado conjunto de dados. De um modo geral pode-se dizer que a tarefa de classificação é um tipo de mineração de dados no qual a partir de uma regra, classifica-se um conjunto de dados. A principal vantagem de se utilizar o CA proposto está na facilidade de implementação, além de ser uma abordagem nova e bastante promissora. É importante destacar que podem ser utilizados dados com mais de 2 dimensões (números de características), porém estes dados devem ser quebrados em matrizes bidimensionais para não contrariar a definição de vizinhança utilizada neste trabalho.

References

- Adamatzky, A. (2010). *Game of life cellular automata*, volume 1. Springer.
- Adwan, O., Huneiti, A., Ayyal Awwad, A., Al Damari, I., Ortega, A., Abu Dalhoum, A. L., and Alfonseca, M. (2013). Utilizing an enhanced cellular automata model for data mining. *International Review on Computers and Software*.
- Ahangaran, M., Taghizadeh, N., and Beigy, H. (2017). Associative cellular learning automata and its applications. *Applied Soft Computing*, 53:1–18.
- Chandra, M. A. and Vidushi (2012). Article: A study and analysis on cellular automata based classifier in data mining. *IJCA Proceedings on International Conference on Advances in Computer Applications 2012*, ICACA(1):30–35. Full text available.
- Chopard, B. and Droz, M. (1998). *Cellular automata*. Springer.
- Fawcett, T. (2008). Data mining with cellular automata. *ACM SIGKDD Explorations Newsletter*, 10(1):32–39.
- Fu, S. and Milne, G. (2003). Epidemic modelling using cellular automata. In *Proc. of the Australian Conference on Artificial Life*. Citeseer.
- Lichman, M. (2013). UCI machine learning repository.
- Tian, G., Ma, B., Xu, X., Liu, X., Xu, L., Liu, X., Xiao, L., and Kong, L. (2016). Simulation of urban expansion and encroachment using cellular automata and multi-agent system model – a case study of tianjin metropolitan region, china. *Ecological Indicators*, 70:439–450.
- Von Neumann, J., Burks, A. W., et al. (1966). Theory of self-reproducing automata. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 5(1):3–14.
- Wolfram, S. (1983). Statistical mechanics of cellular automata. *Reviews of modern physics*, 55(3):601.

Coloração 2-backbone de grafos periplanares com um emparelhamento backbone

Júlio C. S. Araújo¹, Camila S. Araújo¹, Alexandre A. Cezar¹

¹Paralelismo, Grafos e Otimização – ParGO

Departamento de Matemática – Universidade Federal do Ceará (UFC)

Campus do Pici, Bloco 914. - Fortaleza, CE - Brasil

Abstract. *Graph Coloring problems are very common in the study of Graph Theory, and there are many variants of the problem. In this paper, we present a result regarding a variant known as Backbone Coloring. Given a graph $G = (V, E)$, a subgraph $H \subseteq G$ and an integer q , a q -backbone ℓ -coloring of (G, H) is a proper coloring ϕ of G such that $|\phi(u) - \phi(v)| \geq q$, for every $uv \in E(H)$. The q -backbone chromatic number of (G, H) , denoted by $BBC_q(G, H)$, is the smallest integer ℓ such that there exists a q -backbone ℓ -coloring of (G, H) . For G an outerplanar graph and H a matching on G , we show that it is always possible to find a 2-backbone 4-coloring of (G, H) . Furthermore, this bound is tight, that is, there are graphs G and H such that $BBC_2(G, H) = 4$.*

Resumo. *Problemas de Coloração de Grafos são bem comuns na área de Teoria dos Grafos, existindo várias formas do problema. Neste artigo, apresentamos um resultado numa variação chamada Coloração Backbone. Dado um grafo $G(V, E)$, um subgrafo $H \subseteq G$ e um inteiro q , uma q -backbone ℓ -coloração de (G, H) é uma coloração própria ϕ de G tal que $|\phi(u) - \phi(v)| \geq q$, para todo $uv \in E(H)$. O número cromático q -backbone de (G, H) , denotado por $BBC_q(G, H)$, é o menor inteiro ℓ tal que exista a q -backbone ℓ -coloração de (G, H) . Sendo G grafo periplanar e H um emparelhamento G , mostramos que é sempre possível achar esta 2-backbone 4-coloração de (G, H) . Mais que isto, o limitante é apertado, isto é, existem grafos G e H tais que $BBC_2(G, H) = 4$.*

1. Introdução

Problemas de coloração de Grafos são problemas que envolvem atribuir valores, ou cores, a vértices de um grafo, satisfazendo um conjunto de restrições. Para definições e teoria mais detalhada na área de Teoria dos Grafos ou Coloração de Grafos, referimos ao leitor os livros de Douglas B. West [4] ou Bondy e Murty [3]. Uma *coloração de vértices* em G é uma função $\phi : V(G) \rightarrow I_\ell$, onde $I_\ell = \{1, 2, \dots, \ell\}$. Dizemos que $\phi : V(G) \rightarrow I_\ell$ é *própria* se $|\phi(u) - \phi(v)| \geq 1$, para toda aresta $uv \in E(G)$. Denotamos por $\phi(S) = \{\phi(u) \mid u \in S\}$. Os exemplos mais antigos de coloração de grafos [5] envolvem principalmente coloração de mapas, onde vilarejos eram os vértices e vilarejos vizinhos não podiam ser coloridos com as mesmas cores. Este problema deu origem ao que hoje é conhecido como *Teorema das Quatro Cores* [7]. O estudo de Coloração de Grafos é útil em problemas de *Atribuição de Frequência* [6], onde pode-se ter vários receptores que se comunicam com um satélite via sinais de diversas frequências. Se a dois transmissores vizinhos forem assinaladas frequências iguais, ou mesmo próximas, pode haver uma interferência entre os sinais. Um caso particular de Coloração de Grafos

é o problema de Coloração Backbone, primeiramente proposto por Broersma et al. [8], em que as restrições se aplicam não somente ao grafo a ser colorido, como a um subgrafo denotado *backbone*. Seja $G = (V(G), E(G))$ um grafo finito simples e conexo, e um subgrafo $H = (V(H), E(H))$ de G , dizemos que (G, H) é um *par*, onde H é chamado *backbone* de G . Uma ℓ -coloração q -backbone de (G, H) é uma função $\phi : V(G) \rightarrow \{1, 2, \dots, \ell\}$ tal que, para toda aresta $uv \in E(G)$, temos $|\phi(u) - \phi(v)| \geq 1$ e, para toda aresta $uv \in E(H)$, temos $|\phi(u) - \phi(v)| \geq q$. O número cromático q -backbone de (G, H) , denotado por $BBC_q(G, H)$ é o menor inteiro ℓ para o qual existe uma coloração q -backbone $\phi : V(G) \rightarrow \{1, 2, \dots, \ell\}$. Ainda em Broersma et al. [8], é demonstrado que para grafos planares, vale que $BBC_2(G, M) \leq 6$, para G planar e M um emparelhamento. Um grafo é dito *periplanar* quando possui uma imersão no plano tal que todos os seus vértices pertencem a uma mesma face. Mostramos aqui que se G é periplanar, então:

Proposição 1. *Se G é um grafo periplanar e M é um emparelhamento backbone de G , então:*

$$BBC_2(G, M) \leq 4.$$

Na Seção 2 apresentamos as várias definições necessárias para a compreensão deste texto. A Seção 3 contém os resultados apresentados neste texto, sendo dois lemas auxiliares e a Proposição 1 o nosso foco. Encerramos na Seção 4 com um comentário sobre o resultado e algumas perguntas que até então nos ficaram em aberto.

2. Definições

Dado um par (G, H) , um *subpar* (G', H') de (G, H) , escrevemos $(G', H') \subseteq (G, H)$, é um par tal que $G' \subseteq G$ e $H' \subseteq H$. Além disso, se (G', H') é um subpar de (G, H) com $H' \subsetneq H$ ou $G' \subsetneq G$, dizemos que (G', H') é um subpar próprio de (G, H) .

Dois cores c_1 e c_2 são ditas *adjacentes* se $|c_1 - c_2| = 1$. Seja $c \in I_\ell$, denotamos por $[c]$ o conjunto $\{d \in I_\ell \mid |c - d| \leq 1\}$, ou seja, o conjunto formado por c e suas cores adjacentes.

Um subgrafo $G' \subseteq G$ é um *subgrafo induzido* de G se, para quaisquer $x, y \in V(G')$, $xy \in E(G')$ se, e somente se, $xy \in E(G)$.

Um subpar (G', H') é dito *induzido* se G' é um subgrafo induzido de G e H' é um subgrafo de H induzido por $V(H) \cap V(G')$. Seja $C \subseteq V(G)$, denotamos por $(G, H)[C]$ o subpar (G', H') de (G, H) induzido em que $V(G') = C$.

O *grafo dual* G^* de um grafo plano G , isto é, de uma imersão específica de um grafo no plano, é um grafo plano cujos vértices correspondem às faces de G e, além disso, $uv \in E(G^*)$ se, e somente se, u e v representam faces adjacentes em G .

Dado um par (G, H) , um subgrafo $G' \subseteq G$ e uma coloração ϕ do subpar $(G', H[V(G')])$, definimos, para cada $u \in V(G) \setminus V(G')$, o *conjunto das cores disponíveis* para u em ϕ , como:

$$A_\phi(u) = I_\ell \setminus \{(\phi(N_{G'}(u)) \cup \{[\phi(v)] \mid v \in N_{H'}(u)\})\}$$

Muitas vezes desejamos saber não os elementos do conjunto $A_\phi(u)$, mas a quantidade de seus elementos. Utilizamos a notação $a_\phi(u)$ para representar $|A_\phi(u)|$.

Um par (G, H) é dito (k, q) -minimal se $\text{BBC}_q(G, H) > k$, mas $\text{BBC}_q(G', H') \leq k$ para todo subpar próprio (G', H') de (G, H) . Observe que se $\text{BBC}_q(G, H) \geq k$, então existe um subpar (G', H') de (G, H) que é (k, q) -minimal.

3. Resultados

Lema 2. *Se (G, H) é um par $(k, 2)$ -minimal, então G é conexo.*

Demonstração. Suponha, por contradição, que G não é conexo. Dessa forma, tome $C \subset V(G)$ uma componente conexa de G . Observe que $(G, H) - C$ e $(G, H)[C]$ admitem k -colorações 2-backbone ϕ e ϕ' , respectivamente. Combinando ϕ e ϕ' , obtemos uma k -coloração 2-backbone de (G, H) . Contradição. □

Lema 3. *Seja (G, M) um par onde M é um emparelhamento backbone de G . Se (G, M) é $(4, 2)$ -minimal, então $\delta(G) \geq 2$ e, além disso, se $d_G(v) = 2$, então existe um vértice $w \in V(G)$ tal que $d_G(w) \geq 4$ e $vw \in M$.*

Ideia da prova: Caso existe vértice de grau 0 ou 1, podemos sempre tomar uma coloração parcial do restante do grafo que, para este vértice, sempre haverá uma cor disponível, isto é, que podemos estender a coloração de forma que não haja conflito com a coloração do restante do grafo. Quando o grau do vértice u é 2, pelo mesmo motivo, ele deve ter um vizinho v no emparelhamento. Caso este vizinho tenha grau 3 ou menor, colorimos todo o grafo, excetuando u e v . Vemos que há cores disponíveis para estes vértices também.

Proposição 1. *Se G é um grafo periplanar e M é um emparelhamento backbone de G , então:*

$$\text{BBC}_2(G, M) \leq 4.$$

Ideia da prova: Consideramos G um grafo $(4, 2)$ -minimal. Caso G possua vértices de corte, procuramos uma componente conexa com apenas um destes. Ao considerar uma representação periplana desta componente, temos que seu dual fraco é uma árvore, portanto possui folhas. Analisamos configurações destas folhas e seus ancestrais, estudando a quantidade de filhos que cada um destes ancestrais pode ter e cada possível emparelhamento no subgrafo formado por estes ancestrais. Pela minimalidade de G , sabemos que existe coloração parcial de G se desconsiderarmos os vértices deste subgrafo. Cada possível coloração é estendida para uma 4-coloração 2-backbone de G .

Proposição 4. *Existe grafo periplanar G e emparelhamento M de G tal que*

$$\text{BBC}_2(G, M) = 4.$$

Demonstração. Considere o grafo como na Figura 1, de vértices u, v, x e w , as arestas uv, vx, xw, wu e vw , sendo wu e vx do emparelhamento, temos que este grafo necessita de 4 cores para ser colorido respeitando o backbone. Assim, temos que a Proposição 1 apresenta um limitante apertado. □

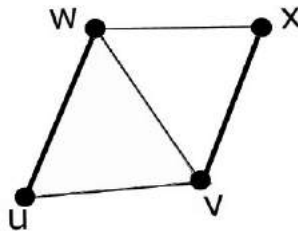


Figura 1. Exemplo em que $BBC_2(G, M) = 4$.

4. Conclusão

Neste trabalho provamos que, para qualquer grafo periplanar G e um emparelhamento M , é possível encontrar uma 4-coloração do grafo respeitando a diferença de 2 entre cores de vértices adjacentes no emparelhamento.

Em aberto seguem os dois questionamentos: e se o grafo planar for arbitrário? Ainda é possível colorir com quatro cores? De Broersma et al. [8], sabemos que é possível colorir utilizando seis cores, no entanto para quatro cores há sempre restrições aplicadas na família de grafos para que seja possível colorir com quatro cores. O segundo questionamento é: é possível relaxar a particularização do valor de q e obter resultados similares? Mais formalmente, existe uma constante c tal que $BBC_q(G, M) \leq q + c$?

Referências

- [1] Julio Araujo, Frédéric Havet, and Mathieu Schmitt. *Steinberg-like theorems for backbone colouring*. Research Report RR-8641, INRIA Sophia Antipolis; INRIA, November 2014.
- [2] Alexandre A. Cezar. *Circular backbone colouring for graphs without cycles of size four*. Dissertação (Mestrado em Matemática) - Universidade Federal do Ceará. 2016
- [3] Adrian Bondy. and Uppaluri S.R. Murty. *Graph Theory*. Graduate Texts in Mathematics. Springer London, 2008.
- [4] Douglas B. West. *Introduction to graph theory*. Vol. 2. Upper Saddle River: Prentice hall, 2001.
- [5] Marek Kubale. *Graph colorings*. American Mathematical Soc. volume 352, 2004.
- [6] Hale, William K. *Frequency assignment: Theory and applications*. Proceedings of the IEEE 68.12 (1980): 1497-1514.
- [7] Rudolf Fritsch, and Gerda Fritsch *Four-Color Theorem*. Springer-Verlag, 1998.
- [8] Broersma, H., Fomin, F. V., Golovach, P. A., Woeginger, G. J. "Backbone colorings for graphs: Tree and path backbones." *Journal of Graph Theory* 55.2 (2007): 137-152.
- [9] Broersma, H., Marchal, B., Paulusma, D., Salman, A. N. M. "Improved upper bounds for λ -backbone colorings along matchings and stars." *International Conference on Current Trends in Theory and Practice of Computer Science*. Springer Berlin Heidelberg, 2007.

2º WCN - Workshop on Cloud Networks

Apresentação

The second edition of the Workshop on Cloud Networks (WCN) aims at interacting with the Brazilian Computer Society (SBC) for the creation of a SIG (Special Interest Group) in Cloud Computing, formed by Brazilian academic experts for structuring the evolution of the area within the research community in Brazil for the upcoming years. This SIG can be responsible for organising future technical themed workshops to strengthen the collaboration between academia and industry.

This workshop will present unpublished position papers by Brazilian and European stakeholders related to the latest challenges, technologies, solutions and techniques related to networking within the cloud and to the efficient and effective cloud deployment and hosting of the various emerging applications and services.

Comitê Organizador

Coordenação Geral

Wagner Meira Jr. (DCC/UFMG), Priscila Solis (UnB), Marco Vieira (UC)

Coordenação Local

Calebe de Paula Bianchini (Mackenzie)

TPC

Andrey Brito (UFCG), Antonio Augusto Frohlich (UFSC), Edmundo Monteiro (University of Coimbra), Eduardo Alchieri (UnB), Flavio Wagner (UFRGS), Giovanni Gracioli (UFSC), João Gondim (UnB), Lisandro Zambenedetti Granville (UFRGS), Moacyr Martucci (POLI-USP), Nuno Laranjeiro (University of Coimbra), Philippe Navaux (UFRGS), Thais Vasconcelos Batista (UFRN)

2º Workshop do testbed FIBRE - Future Internet Brazilian Environment for Experimentation

Apresentação

Os testbeds de Internet do Futuro podem ser muito úteis no ensino de Redes de Computadores, tanto em aulas de laboratório de cursos de graduação e pós-graduação como no contexto de cursos online (EAD, MOOCs). O acesso a ambientes de experimentação de larga escala oferece aos alunos uma experiência prática (hands-on) que tipicamente não é possível oferecer com softwares simuladores e recursos locais de uma instituição de ensino.

O objetivo deste workshop é apresentar e demonstrar o uso do testbed FIBRE - Future Internet Brazilian Environment for Experimentation de forma a encorajar professores a fazerem uso do testbed em sala de aula. Além de apresentação de tutoriais, a segunda edição do workshop selecionou trabalhos de 5 usuários que relatam a execução de experimentos realizados no testbed, a saber:

1. Investigação do Protótipo IRATI usando testbed FIBRE. Djalma A. Lima Filho e José A. Suruagy Monteiro (UFPE)
2. Coleta de amostras de RSSI para testes de handoff em cenários com e sem mobilidade utilizando-se testbeds FIBRE. Helga Dolorico Balbi e Célio V. N. de Albuquerque (UFF)
3. Uma Análise de Métricas para Colocação de Servidores de Cache e Distribuição de Conteúdo no testbed FIBRE. Caléo R. Nascimento e Antônio J. Abelém (UFPA)
4. VCFflow: arcabouço para provimento de serviços de transporte de camada 2 em redes SDN/OpenFlow híbridas. Pedro H. Diniz, Nilton Alves Jr. e Márcio P. Albuquerque (CBPF)
5. NovaGenesis no Ambiente FIBRE: Desempenho da Troca de Conteúdos Nomeados. Victor Hugo D. D'Ávila, Élcio Carlos Rosário, Felipe Simões Miranda e Antônio M. Alberti (Inatel)

Destes 5 trabalhos, apenas os 2 primeiros haviam resultados maduros o suficiente para serem relatados e incluídos nos anais do CSBC no momento do fechamento desta publicação. Os 3 artigos restantes, apesar de apresentados no workshop, serão disponibilizados online ou publicados em futuras edições deste workshop.

Comitê Organizador

Leandro Ciuffo (RNP), José Ferreira de Rezende (UFRJ), Iara Machado (RNP)

Trabalhos aceitos

Coleta de amostras de RSSI para testes de handoff em cenários com mobilidade utilizando-se testbeds FIBRE

Helga Dolorico Balbi, Célio V. N. de Albuquerque

Investigação do protótipo IRATI usando testbed FIBRE

Djalma A. Lima Filho, José A. Suruagy Monteiro

Coleta de amostras de RSSI para testes de handoff em cenários com mobilidade utilizando-se testbeds FIBRE

Helga Dolorico Balbi¹, Célio V. N. de Albuquerque¹

¹Instituto de Computação – Universidade Federal Fluminense (UFF)

helgadb@midia.com.uff.br, celio@ic.uff.br

Abstract. *The direct use of RSSI samples by the handoff algorithms implemented in client devices is one of the causes of the association instability problem in dense infra-structured IEEE 802.11 networks. Considering that temporal RSSI samples present a high variability in time due to the noisy wireless medium, it becomes interesting to use filtering mechanisms to prevent applications based on this metric to take wrong decisions. In order to facilitate the analysis of new proposals for the problem of association instability, this work aimed at creating traces of RSSI using the testbeds provided by the FIBRE project. As will be presented, the results include the generation and publication of RSSI traces obtained from different IEEE 802.11 interfaces in scenarios with mobility. These traces may be used in the future as input for simulators of applications based on RSSI metric, such as handoff and localization algorithms.*

Resumo. *Uma das causas associadas ao problema da instabilidade de associação em redes IEEE 802.11 infraestruturadas densas é a utilização direta de amostras de RSSI pelos algoritmos de handoff implementados nos dispositivos cliente. Tendo em vista que o RSSI apresenta alta variabilidade no tempo devido a ruídos inseridos no decorrer da propagação do sinal, torna-se interessante a utilização de mecanismos de filtragem destas amostras temporais para que aplicações que baseiam-se nesta métrica, como as de handoff, não tomem decisões equivocadas. Buscando-se facilitar a análise de soluções para o problema da instabilidade, este trabalho objetivou a criação de traces de RSSI utilizando-se os testbeds disponibilizados pelo projeto FIBRE. Como será apresentado, os resultados incluem a geração e disponibilização pública de traces obtidos a partir de diferentes interfaces IEEE 802.11 em cenários com mobilidade. Estes traces poderão ser utilizados futuramente como entrada para simuladores de mecanismos de handoff e também para simuladores de outras aplicações que baseiam-se nesta métrica, como algoritmos de localização.*

1. Introdução

As redes sem fio, particularmente as redes IEEE 802.11 [IEEE 2012] infraestruturadas densas¹, comumente apresentam problemas de instabilidade de associação entre estações cliente (STAs) e Pontos de Acesso (APs) [Santana et al. 2016, Raghavendra et al. 2007]. Uma das causas reportada em [Balbi et al. 2016] é a utilização de algoritmos de *handoff*

¹O termo “redes densas” aqui refere-se à densidade de estações, podendo estas serem estações cliente ou pontos de acesso da rede.

ineficientes por parte das STAs. Tais algoritmos são capazes de ocasionar *handoffs* frequentes, até mesmo para estações estáticas, que podem ser inconvenientes para o usuário da rede. Alguns efeitos inconvenientes são a perda de conectividade, a quebra de conexões ativas e o aumento do número de quadros de gerência na rede, que aumenta o *overhead* da comunicação.

Idealmente, um *handoff* para um novo AP deveria ocorrer somente quando, de fato, observa-se um ganho de qualidade na conexão. Um exemplo é uma STA móvel que gradualmente se move para longe de seu AP corrente, se aproximando de outro AP pertencente ao mesmo ESS (*Extended Service Set*). Entretanto, especialmente em ambientes nos quais muitos APs estão no alcance rádio de uma mesma STA, é comum que esta realize *handoffs* para APs que proveem qualidade de conexão similar, ou até pior em relação ao atual. Em alguns casos, a STA realiza *handoffs* sucessivos entre dois ou mais APs em um curto intervalo de tempo, mesmo estando estática ou com mobilidade reduzida [Balbi et al. 2016]. Esta instabilidade é comumente conhecida na literatura por efeito “ping-pong” [Mhatre and Papagiannaki 2006, Ramani and Savage 2005].

O trabalho de [Balbi et al. 2016], mostra que o efeito ping-pong ocorre de forma recorrente para uma grande gama de dispositivos de diferentes fabricantes e sistemas operacionais atuais. Além disso, mostra que uma das raízes do problema está relacionada à utilização direta de amostras de RSSI (*Received Signal Strength Indication*) na decisão de *handoff*, uma métrica que possui grande variabilidade no tempo [Balbi et al. 2016]. A partir desta constatação, os autores propõe a utilização de um filtro baseado na Média Móvel Exponencialmente Ponderada (MMEP) para suavização das amostras temporais de RSSI. Apesar de simples e efetivo na solução do efeito ping-pong, este filtro apresenta a desvantagem de ocasionar o atraso na realização dos *handoffs* que são realmente desejados, como nos casos em que a STA se afasta de seu AP de origem e se aproxima de um novo AP. Desta forma, torna-se interessante que outros métodos para filtragem do ruído sejam elaborados considerando-se esta questão. Outra necessidade é a avaliação dos métodos em cenários mais variados, incluindo cenários com mobilidade.

Para que a avaliação de mecanismos de filtragem possa ser realizada de forma realística e sistemática, se torna necessária a coleta de amostras temporais de RSSI em redes reais com topologia conhecida. Tendo esta necessidade em vista, este trabalho objetivou a criação destes *traces* utilizando-se a infra estrutura de *testbeds* do FIBRE (*Future Internet Brazilian Environment for Experimentation*). Como resultados dos experimentos, *traces* de RSSI foram coletados a partir de duas interfaces IEEE 802.11 em cenários móveis, e disponibilizados para a comunidade científica. A partir destes *traces*, o comportamento de diferentes mecanismos de *handoff*, baseados em diferentes métodos de filtragem, poderá ser avaliado através do uso de simuladores que terão como entrada estas amostras temporais. Os *traces* também poderão ser utilizados para pesquisa de outras aplicações que baseiam-se no RSSI, como as de localização.

As próximas seções estão organizadas da seguinte forma: a Seção 2 apresenta a infraestrutura do *testbed* FIBRE escolhido para a realização dos experimentos em redes IEEE 802.11 com mobilidade; a Seção 3 descreve os experimentos e os resultados obtidos; a Seção 4 fala sobre a experiência de utilização do *testbed* FIBRE; por fim, a Seção 5 apresenta a conclusão do trabalho.

2. Infraestrutura utilizada para experimentação

Dentre os *testbeds* FIBRE descritos em [Fibre Team 2016], o localizado na Universidade Federal Fluminense (UFF) [UFF Fibre Team 2016a] é o único que disponibiliza infraestrutura para realização de testes com mobilidade. No momento da execução dos testes, a infra-estrutura funcional disponível para testes era composta por dois roteadores sem fio Icarus [NITlab Team 2016] e quatro nós do tipo Mini ITX [UFF Fibre Team 2016b] programáveis. Dentre outras características destes nós, a mais importante para o experimento foi a facilidade de configuração de suas duas interfaces IEEE 802.11 para operar no modo AP, enviando quadros de *beacons* e *probe responses*, a partir dos quais amostras de RSSI pudessem ser coletadas. Além destes nós, a infra-estrutura também incluiu um “trem” ao qual um *laptop* com interfaces IEEE 802.11 configuráveis está acoplado, cujos movimentos foram controlados remotamente através do envio de comandos no formato de requisições *web*.

A Figura 1 mostra a planta e a topologia da rede funcional, incluindo o nó móvel (*laptop* acoplado ao trem) com duas estações de parada denominadas ORG e END, e os nós fixos (2 nós Icarus e 4 nós Mini ITX) disponíveis para a execução dos experimentos. As plantas incluem o terceiro e o quarto andar do Bloco D da UFF, campus da Praia Vermelha. O percurso do trem possui aproximadamente 60 metros em linha reta, que pode ser percorrido nos sentidos de ida e de volta com velocidade constante equivalente à de uma pessoa caminhando rapidamente.

Conforme mostra a Figura 1, os nós Icarus estavam localizados nos extremos do trajeto, sendo que o Icarus14 estava à esquerda e o Icarus30 à direita na planta mostrada. O nó ITX35 estava na sala 330, que se localiza na parte intermediária do trajeto, próximo à estação ORG. O nó ITX38 estava na sala 443a (no quarto andar), também próximo à estação ORG. O nó ITX39 estava localizado na sala de aula à direita da estação ORG. O nó ITX41 estava localizado na parte intermediária do trajeto, na sala 332.

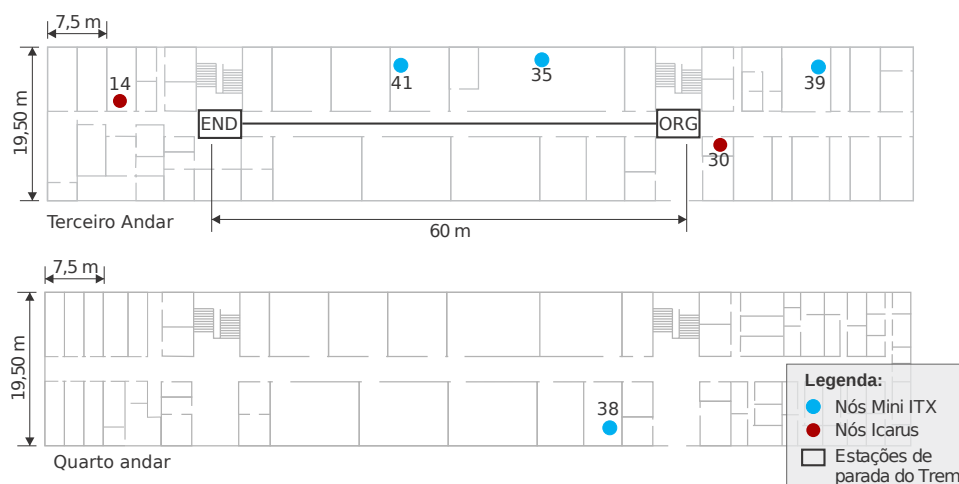


Figura 1. Plantas com localização dos nós Icarus e Mini ITX instalados no 3º e 4º andar do testbed FIBRE da UFF.

A infraestrutura também incluiu um servidor que pôde ser acessado de fora da rede da UFF e que possibilitou a comunicação com todos os nós sem fio descritos, incluindo

nós Icarus, ITX, *laptop* e trem. A comunicação do *laptop* com a rede foi realizada através de rede sem fio, utilizando o AP FibreUFF instalado dentro da estação ORG. Próximo a ele, encontrava-se o AP MotorCtrl, que foi instalado para servir como *backup* para caso o AP FibreUFF falhasse. Já a comunicação com o sistema de controle de movimentação do trem foi realizada por rede cabeada Ethernet. Uma *Webcam* instalada na estação de parada ORG também estava acessível através deste servidor. As imagens geradas por ela puderam ser recebidas por *streaming* a qualquer momento, mostrando visualmente a localização do trem e se ele estava ou não em movimento.

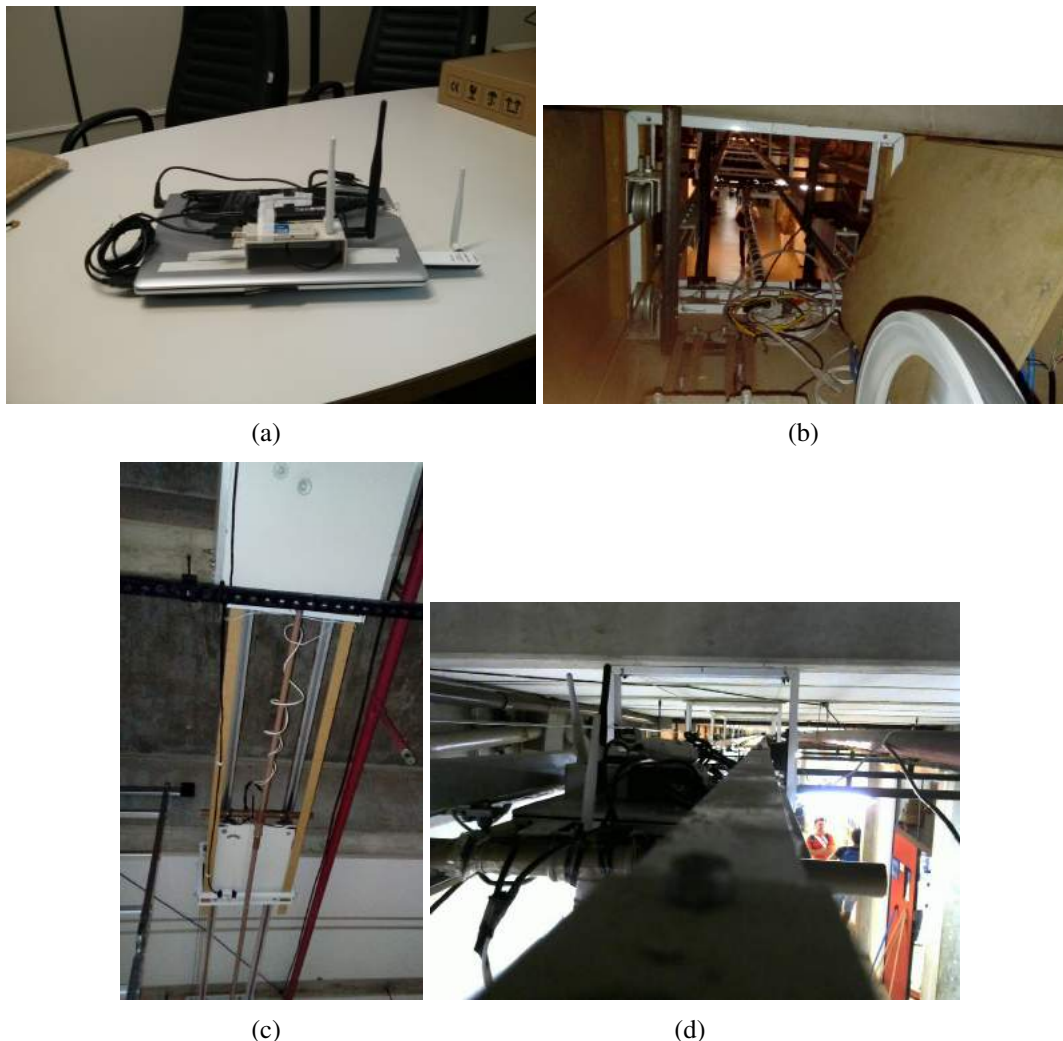


Figura 2. Fotos do trem e do *laptop* que é acoplado a ele para a realização de testes com mobilidade: (a) *laptop* com interfaces IEEE 802.11 conectadas; (b) engrenagens do trem; (c) o trem visto por baixo, ao lado da estação ORG; (d) vista de trás do trem e corredor ao fundo.

A Figura 2 mostra fotos do “trem” e do *laptop* que fica acoplado a ele para a execução dos testes com mobilidade. Três interfaces de rede IEEE 802.11 extras foram acopladas ao *laptop* para a realização dos experimentos (Figura 2-a), duas para captura de quadros (Aircap NX [WikiDevi 2017a] e TP-LINK TL-WN722N rev 1.0 [WikiDevi 2017b]) e uma para envio de quadros de *probe request* (TL-WN722N rev 1.0), para que quadros de *probe response* pudessem ser coletados, além de *beacons* provenien-

tes dos APs localizados nos arredores do trem. A Figura 2 (b) mostra as engrenagens do trem e ao fundo o corredor pelo qual ele se desloca. A Figura 2 (c) mostra o trem visto por baixo, ao lado da estação de parada ORG, ambos pendurados ao teto. A Figura 2 (d) mostra o trem visto por trás e ao fundo o corredor. Esta foto foi obtida a partir da *Webcam* do trem.

3. Descrição do experimento e resultados

Os resultados esperados para esta etapa preliminar do experimento foram dois: (1) a geração de *traces* de RSSI em cenários com mobilidade; e (2) a disponibilização destes *traces* à comunidade científica. Para trabalhos futuros, espera-se obter resultados relativos a cenários sem mobilidade e a avaliação de dois mecanismos de *handoff* apresentados em [Balbi et al. 2016], utilizando-se os *traces* obtidos.

Para a execução dos experimentos com mobilidade na ilha da UFF, as interfaces de rede IEEE 802.11 do *laptop* do “trem” foram configuradas para enviar 5 *probe requests* por segundo utilizando o Aireplay-ng [Mister X 2017] e capturar *beacons* e *probe responses* utilizando o *tcpdump* [tcpdump.org 2017], enquanto os demais nós Icarus e Mini ITX foram configurados para atuar como APs, emitindo *beacons* e respondendo aos *probe requests* utilizando o Hostapd [Linux Wireless Wiki 2017], todos operando no canal 11 da banda de 2.4 GHz. A seguir, o “trem” foi configurado para movimentar-se nas duas direções disponíveis no percurso, gerando *traces* relativos a dois cenários, IDA e VOLTA. Ambos os percursos foram percorridos 116 vezes na madrugada de 22/03/2017 entre 00:37 hs e 4:45 hs GMT-3, totalizando aproximadamente 14 km de distância total.

Para cada trecho percorrido, dois arquivos de captura foram gerados, um para a interface Airpcap e outro para a interface TP-Link. A nomenclatura utilizada para identificar os arquivos de captura foi a seguinte: captura-<nome da interface>-<N° do teste>-<sentido>.cap

Além disso, arquivos com *logs* indicando o momento em que o trem iniciou cada movimento foram guardados para cada trecho. A nomenclatura utilizada para arquivos de log foi a seguinte: log-<N° do teste>-<sentido>-.html.

A Figura 3 mostra exemplos do conteúdo de arquivos de *log* para o sentido de IDA (Figura 3 - a) e de VOLTA (Figura 3 - b). Cada linha é iniciada por um *timestamp*, indicando o momento em que as mensagens foram recebidas pelo controlador do trem. A mensagem CLEAR indica que o *log* foi reiniciado, ou seja, o histórico foi apagado. A mensagem FWD significa que o comando *Forward* foi recebido, ou seja, o trem se movimentará no sentido ORG para END. A mensagem BWD indica que o comando *Backward* foi recebido, ou seja, o trem se movimentará de END até ORG. A mensagem HALT significa que o trem parou. A numeração após os comandos indica a posição do trem em número de rotações do motor, ou seja, 0 representa ORG e 6720 representa END.

```

1490166700.89 2017-03-22 04:11:40 CLEAR ORG 0
1490166704.0045 2017-03-22 04:11:44 FWD ORG 0
2017-03-22 04:11:47 Reset button pressed. Train has reached end of track
2017-03-22 04:11:47 Reset button pressed. Train has reached end of track
1490166753.9383 2017-03-22 04:12:33 HALT END 6720
2017-03-22 04:12:33 Reset button pressed. Train has reached end of track
2017-03-22 04:12:34 Reset button pressed. Train has reached end of track
    
```

(a)

```

1490166764.8135 2017-03-22 04:12:44 CLEAR END 6720
1490166767.9199 2017-03-22 04:12:47 BWD END 6720
2017-03-22 04:12:50 Reset button pressed. Train has reached end of track
2017-03-22 04:12:50 Reset button pressed. Train has reached end of track
1490166816.1744 2017-03-22 04:13:36 HALT ORG 0
2017-03-22 04:13:36 Reset button pressed. Train has reached end of track
2017-03-22 04:13:36 Reset button pressed. Train has reached end of track
    
```

(b)

Figura 3. Exemplos de conteúdo do arquivo de log: (a) sentido de IDA; (b) sentido de VOLTA.

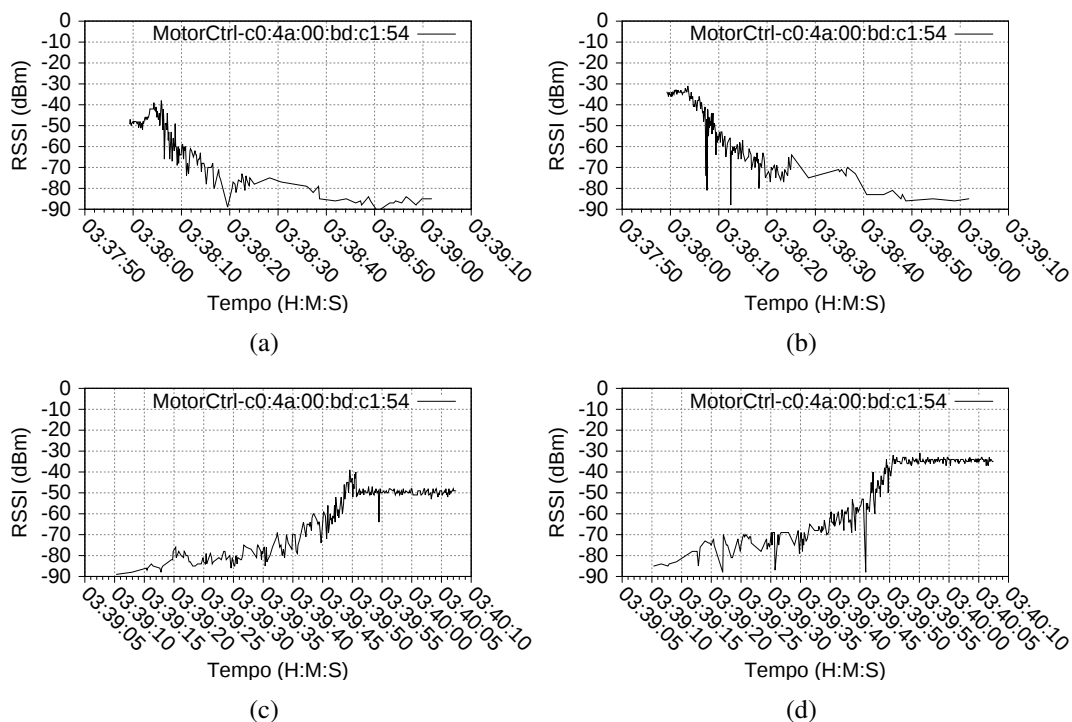


Figura 4. Gráficos RSSI x Tempo (*Epoch Time*) de amostras provenientes do AP MotorCtrl, localizado em ORG: (a) coletadas pela interface TP-Link no sentido de IDA; (b) Coletadas pela interface Aircap no sentido de IDA; (c) Coletadas pela interface TP-Link no sentido de VOLTA; (d) coletadas pela interface Aircap no sentido de VOLTA.

Após a finalização dos experimentos, os *traces* (no formato .cap) foram verificados, e informações de RSSI referentes aos *beacons* de cada AP encontrado no percurso foram extraídas. Para cada experimento, um diretório foi criado contendo um arquivo para cada AP encontrado no trajeto. A distinção entre APs foi realizada pelo MAC de transmissão do *beacon*. Cada arquivo gerado contém MAC, *Epoch Time*, RSSI e SSID registrados no *beacon* recebido.

Além disso, gráficos RSSI x Tempo (*Epoch Time*) foram plotados. As Figuras 4 e 5 mostram alguns dos gráficos obtidos para o teste de N° 0, nos sentidos de IDA e VOLTA, para as interfaces TP-Link e Airpcap.

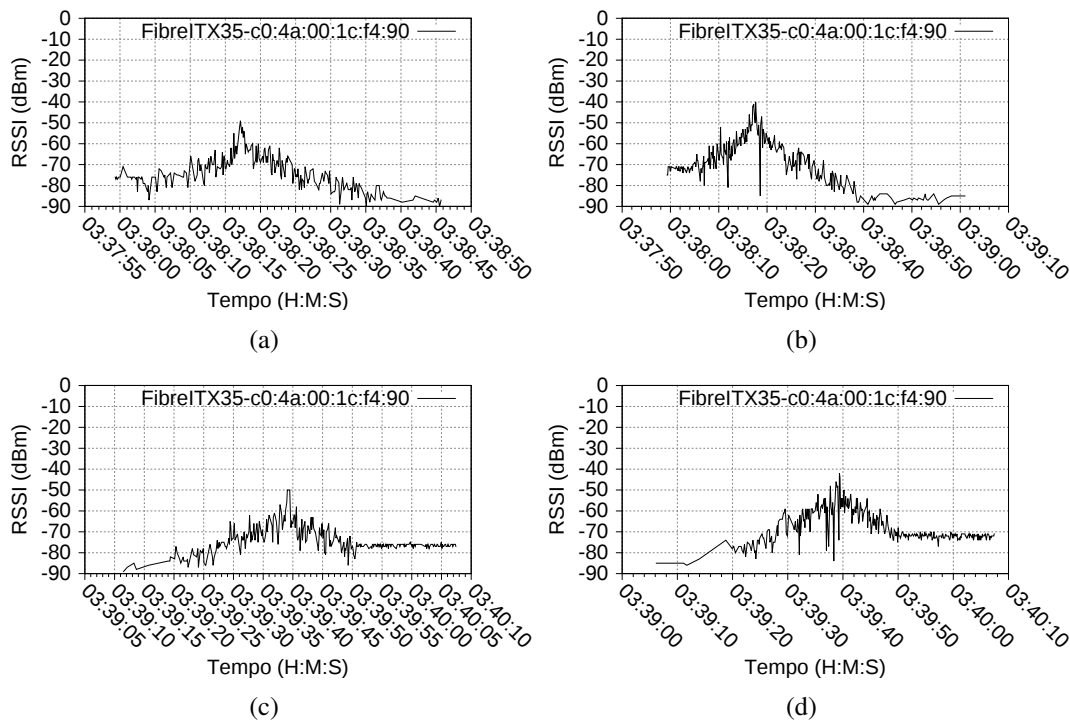


Figura 5. Gráficos RSSI x Tempo (*Epoch Time*) de amostras provenientes do AP FibreTX35, localizado na sala 330: (a) coletadas pela interface TP-Link no sentido de IDA; (b) Coletadas pela interface Airpcap no sentido de IDA; (c) Coletadas pela interface TP-Link no sentido de VOLTA; (d) coletadas pela interface Airpcap no sentido de VOLTA.

Além de coletar *beacons* de APs pertencentes ao *testbed* FIBRE, *beacons* provenientes de outros APs instalados nos arredores do percurso do “trem” também foram coletados. A Figura 6 mostra gráficos de RSSI relativos a um desses APs. No total, foram encontrados 151 APs com mais de 100 *beacons* recebidos. As amostras de RSSI provenientes destes APs também poderão ser utilizadas em trabalhos científicos.

Os arquivos de captura, dados e gráficos foram disponibilizados para acesso público através do endereço <http://www.midiacom.uff.br/helgadb/tracesfibre.zip>.

4. Experiência de utilização do Testbed FIBRE da UFF

A execução dos testes em cenários com mobilidade utilizando-se o *testbed* FIBRE na UFF ocorreu com sucesso. O suporte fornecido pela equipe técnica foi ótimo e as dificuldades encontradas foram sanadas rapidamente. Tendo em vista que a integração do

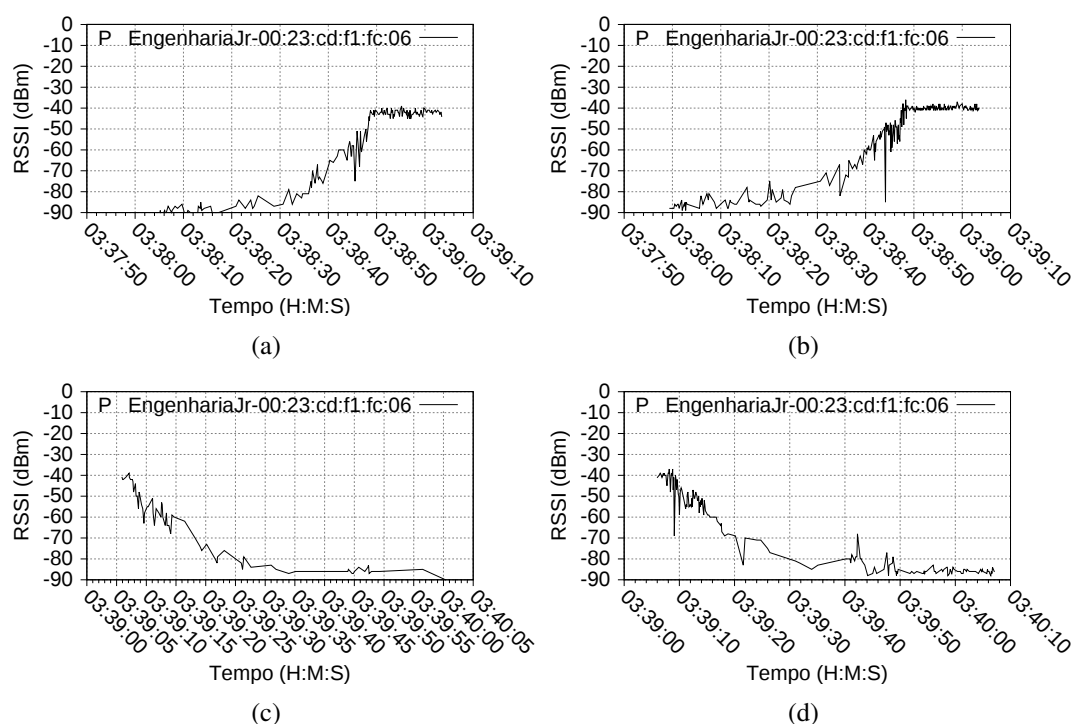


Figura 6. Gráficos RSSI x Tempo (*Epoch Time*) de amostras provenientes do AP P & QEngenhariaJr, localizado próximo a END: (a) coletadas pela interface TP-Link no sentido de IDA; (b) Coletadas pela interface Aircap no sentido de IDA; (c) Coletadas pela interface TP-Link no sentido de VOLTA; (d) coletadas pela interface Aircap no sentido de VOLTA.

OMF [Fibre Project 2017] com o “trem” não estava completa, a programação dos nós e coleta dos resultados foram realizadas manualmente através da execução de *scripts* via SSH (Secure Shell).

No decorrer da utilização do *testbed*, a implementação de novas funcionalidades foi realizada conforme a demanda. Um exemplo foi a implementação do comando GOTO, que possibilita que o “trem” seja deslocado até certa posição e permaneça nela sem movimentar-se. Esta função possibilitará a realização de testes sem mobilidade utilizando-se o “trem”, que antes só realizava movimentos nos sentidos de IDA e VOLTA entre ORG e END. Além desta nova funcionalidade, um novo mecanismo para recarga da bateria do *laptop* móvel foi implementado e também uma função para recarga da bateria para evitar que o *laptop* desligue durante os testes.

Em relação à infra-estrutura, algumas melhorias necessitam ser realizadas. A ativação de todos os nós disponíveis para testes é uma delas.

5. Conclusão

Este trabalho apresentou os experimentos realizados no *testbed* FIBRE localizado na UFF para a coleta de *traces* de RSSI em cenários com mobilidade. No total, 116 *traces* foram coletados em dois cenários com mobilidade, por duas interfaces IEEE 802.11. Os dados foram compilados e disponibilizados para acesso público no endereço <http://www.midiacom.uff.br/helgadb/tracesfibre.zip>. Estes *traces* poderão ser utilizados

pela comunidade científica para a avaliação de novas propostas de soluções em redes sem fio que necessitam da utilização da RSSI para tomada de decisão, como algoritmos de *handoff* e de localização. Experimentos para a coleta de amostras de RSSI em cenários estáticos estão em andamento e serão realizados utilizando-se outros *testbeds* disponibilizados pelo FIBRE.

Referências

- Balbi, H., Passos, D., Carrano, R., Magalhães, L., and Albuquerque, C. (2016). Análise e solução para o problema da instabilidade de associação em redes IEEE 802.11 densas. In *XXXIV SBRC*, Salvador, BA, Brasil.
- Fibre Project (2017). OMF Control Monitoring Framework. Disponível em <http://www.fibre-ict.eu/index.php/cmfm/omf>.
- Fibre Team (2016). Local Testbeds - FIBRE. Disponível em <https://fibre.org.br/start-using-fibre/local-portals/>.
- IEEE (2012). IEEE Standard for Information technology–Telecommunications and information exchange between systems Local and metropolitan area networks–Specific requirements Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. *IEEE Std 802.11-2012 (Revision of IEEE Std 802.11-2007)*.
- Linux Wireless Wiki (2017). Hostapd Linux documentation page. Disponível em <https://wireless.wiki.kernel.org/en/users/documentation/hostapd>.
- Mhatre, V. and Papagiannaki, K. (2006). Using Smart Triggers for Improved User Performance in 802.11 Wireless Networks. In *MobiSys*, pages 246–259.
- Mister X (2017). Aireplay-ng Aircrack-ng. Disponível em <https://www.aircrack-ng.org/doku.php?id=aireplay-ng>.
- NITlab Team (2016). Icarus Nodes - NITlab. Disponível em <http://nitlab.inf.uth.gr/NITlab/hardware/wireless-nodes/icarus-nodes>.
- Raghavendra, R., Belding, E. M., Papagiannaki, K., and Almeroth, K. C. (2007). Understanding Handoffs in Large IEEE 802.11 Wireless Networks. In *IMC*, pages 333–338.
- Ramani, I. and Savage, S. (2005). SyncScan: practical fast handoff for 802.11 infrastructure networks. In *INFOCOM*, volume 1, pages 675–684.
- Santana, J. A., Macías, E., Suárez, Á., Marrero, D., and Mena, V. (2016). Adaptive estimation of WiFi RSSI and its impact over advanced wireless services. *Mobile Networks and Applications*, pages 1–13.
- tcpdump.org (2017). Manpage of TCPDUMP. Disponível em http://www.tcpdump.org/tcpdump_man.html.
- UFF Fibre Team (2016a). UFF Island - FIBRE. Disponível em <https://fibre.org.br/start-using-fibre/register/uff-island/>.
- UFF Fibre Team (2016b). UFF’s Mini-ATX router. Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=yTxCnYM7IRM>.

WikiDevi (2017a). CACE Technologies AirPcap Nx. Disponível em https://wikidevi.com/wiki/CACE_Technologies_AirPcap_Nx.

WikiDevi (2017b). TP-LINK TL-WN722N. Disponível em https://wikidevi.com/wiki/TP-LINK_TL-WN722N.

Investigação do protótipo IRATI usando *testbed* FIBRE

Djalma A. Lima Filho, José A. Suruagy Monteiro

Centro de Informática – Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Recife - PE - Brasil

dalf@cin.ufpe.br, suruagy@cin.ufpe.br

Abstract. *Internet architecture has limitations that interfere with its development. RINA is a clean slate proposal for the Internet of the future that propose solutions to solve the limitations in the structure of the Internet, while FIBRE is a network of experimentation that allows to work with new proposals of architectures. In this context, this article describes a work with the purpose of investigating access control in the RINA architecture using the prototype of the IRATI project on the FIBRE environment using the UFPE island. An experiment will be carried out that aims to evaluate in a practical way the operation of access control, besides presenting solutions proposed by the architecture to solve the current limitations.*

Resumo. *Arquitetura da Internet apresenta limitações que interferem no seu desenvolvimento. RINA é uma proposta clean slate para a Internet do futuro que propõem soluções para resolver as limitações na estrutura da Internet, enquanto que o FIBRE é uma rede de experimentação que permite trabalhar com novas propostas de arquiteturas. Neste contexto, esse artigo descreve um trabalho com finalidade de investigar o controle de acesso na arquitetura RINA utilizando o protótipo do projeto IRATI sobre o ambiente FIBRE utilizando a ilha UFPE. Será abordado experimento realizado que visa avaliar de maneira prática o funcionamento do controle de acesso, além de apresentar soluções propostas pela arquitetura para solucionar as limitações atuais.*

1. Introdução

A Internet tem crescido e o seu uso está mais diversificado, desempenhando um papel cada vez mais importante e fundamental na sociedade. Formada por uma gama de redes diferenciadas e interconectadas, sua estrutura foi projetada em camadas empilhadas [Moreira, 2009]. Neste contexto, um dos modelos de referência de camadas da Internet é TCP/IP (*Transmission Control Protocol / Internet Protocol*) que é dividido em várias camadas distintas cada qual com funcionalidades e protocolos diferenciados.

A arquitetura convencional da Internet requer constantes mudanças, apresenta pouca flexibilidade para prover novos serviços e atender novas demandas de aplicações além disso, é insegura e tem se tornado cada vez mais complexa [Grasa et al., 2011].

Devido à complexidade de prover novos serviços, a Internet atual apresenta limitações na sua estrutura o que dificulta seu crescimento. Diante disso, RINA (*Recursive InterNetworking Architecture*), aparece como uma arquitetura alternativa e inovadora, no contexto de Internet do Futuro, cujo princípio básico é a comunicação de processos IPC (*InterProcess Communication*) e, que pode solucionar muito dos

problemas da arquitetura convencional. O modelo de camadas é um dos problemas, pois em sua estrutura é necessário implementar funcionalidades para atender as novas demandas das aplicações. Outro fator limitador é a falta de um processo formal de inscrição que envolva autenticação. [Day, 2008].

2. A arquitetura RINA

Os princípios dessa arquitetura foram apresentados em 2008 por *John Day* em seu livro "Padrões de Arquitetura de Rede: Um retorno aos fundamentos" [Day, 2008]. A razão que levou aos estudos dessa nova arquitetura é a forma de repensar nas premissas básicas de comunicação das redes. Diferente da arquitetura convencional que divide a estrutura da rede em várias camadas com diferentes funções, RINA defende o uso de uma única camada denominada DIF (*Distributed IPC Facility*) cujo propósito é oferecer serviço de comunicação entre processos, IPC, de maneira distribuída e se repete provendo as mesmas funções e mecanismos, porém em escopos diferentes.

Na RINA, de acordo com a sua característica recursiva, a convenção é tomar o ponto de vista da camada atual e chamá-la de camada-(N) ou N-DIF. As camadas superior e inferior são denominadas, respectivamente, como (N+1)-DIF e (N-1)-DIF [Day,2008]. A Figura 1 apresenta a convenção de camadas na arquitetura RINA.

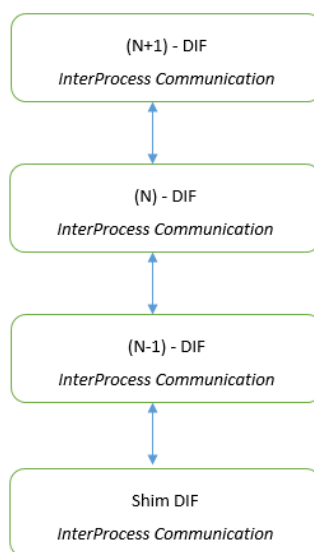


Figura 1: Convenção de camadas na RINA

A comunicação de dois ou mais processos IPC que cooperam em um ou mais sistemas de processamento com finalidade de trocar informações e compartilhar mensagens é conhecida como DAF (*Distributed Application Facility*) [Veselý,2015].

Cada processo IPC que precisa estabelecer um fluxo de comunicação, tem que fazê-lo através de um outro processo subjacente pertencente a DIF. Cada processo consiste em três conjuntos distintos de tarefas que são: transferência de dados IPC, transferência de controle e gestão IPC [Van Leur, 2016].

O processo de transferência de dados permite que os processos IPCs compartilhem informações de maneira confiável ou não, enquanto que a gestão IPC é

responsável por monitorar todas as informações de cada processo IPC e essas informações são armazenadas em uma base de dados designada como RIB (*Resource Information Base*).

Por questões de compatibilidade, a camada mais baixa é implementada para operar com outras tecnologias legadas e, é conhecida como *shim DIF*. RINA apresenta em sua estrutura um conceito de mecanismos e políticas de formas separadas. O mecanismo é a parte invariável da estrutura, enquanto que a política pode ser programada em diferentes DIFs. Além do mais à RINA apresenta apenas dois protocolos conhecidos como CDAP (*Common Distributed Application Protocol*) e o EFCP (*Error and Flow Control Protocol*) que apresentam mecanismos na sua estrutura. O controle de fluxos é um mecanismo implementado no EFCP, em contrapartida a alocação desses fluxos são as políticas. Referente ao protocolo CDAP o controle de acesso como também a autenticação são mecanismos, enquanto que o tipo de criptografia adotada na comunicação dos processos IPCs refere-se à políticas. Diante disso, devido a sua estrutura recursiva à arquitetura se torna menos complexa em relação ao modelo convencional [Day, 2008].

Alguns trabalhos como os de [Vrijders, 2014], [Bergesio,2013] e [Wang et al, 2013] foram realizados para explorar as funcionalidades da arquitetura RINA. Nos trabalhos de [Vrijders, 2014] e [Bergesio,2013], especificamente, os autores abordaram toda implementação do protótipo IRATI fazendo uma avaliação da arquitetura RINA através do mesmo.

3. Protótipo IRATI no *testbed* FIBRE

Esforços para trabalhar com protótipos no ambiente FIBRE têm sido realizados. Como exemplo temos a replicação da utilização do protótipo ProtoRina executado no *testbed* GENI com objetivo de explorar as funcionalidades e verificar comportamento da arquitetura RINA [Luiz; Monteiro,2016].

Os trabalhos com protótipos na RINA tiveram início em 2010, com o objetivo principal de testar, analisar e aprimorar os componentes da arquitetura e suas especificações. Esses trabalhos apresentam diferentes graus de maturidade e estão disponíveis em [Grasa et al,2012], [Wang et al, 2013] e [Vrijders, 2014]. Neste contexto, esse trabalho utilizou o protótipo do projeto IRATI [Bergesio,2013] no *testbed* FIBRE através da ilha UFPE¹ que utiliza o *framework* OCF (*Ofelia Control Framework*) o qual possibilita realizar o gerenciamento dos recursos utilizados no ambiente.

O projeto IRATI² teve como propósito investigar arquitetura RINA como uma alternativa para o modelo tradicional. Diante disso, foi desenvolvido um protótipo que recebeu nome do projeto o qual ficou conhecido como protótipo IRATI e tem como alvo as plataformas de sistemas operacionais GNU/Linux. Mesmo com projeto IRATI finalizado os estudos continuam no intuito de propor melhorias e novas implementações de acordo com a especificação da arquitetura. A Figura 2 apresenta a arquitetura do protótipo IRATI o qual é dividido em espaço do kernel e espaço do usuário.

¹ Ilha UFPE: Disponível em: <https://portal.ufpe.fibre.org.br/LS-WEB/>. Acessado em 24 de abril de 2017.

² Projeto IRATI. Disponível em: <http://irati.eu/>. Acessado em 24 de abril de 2017.

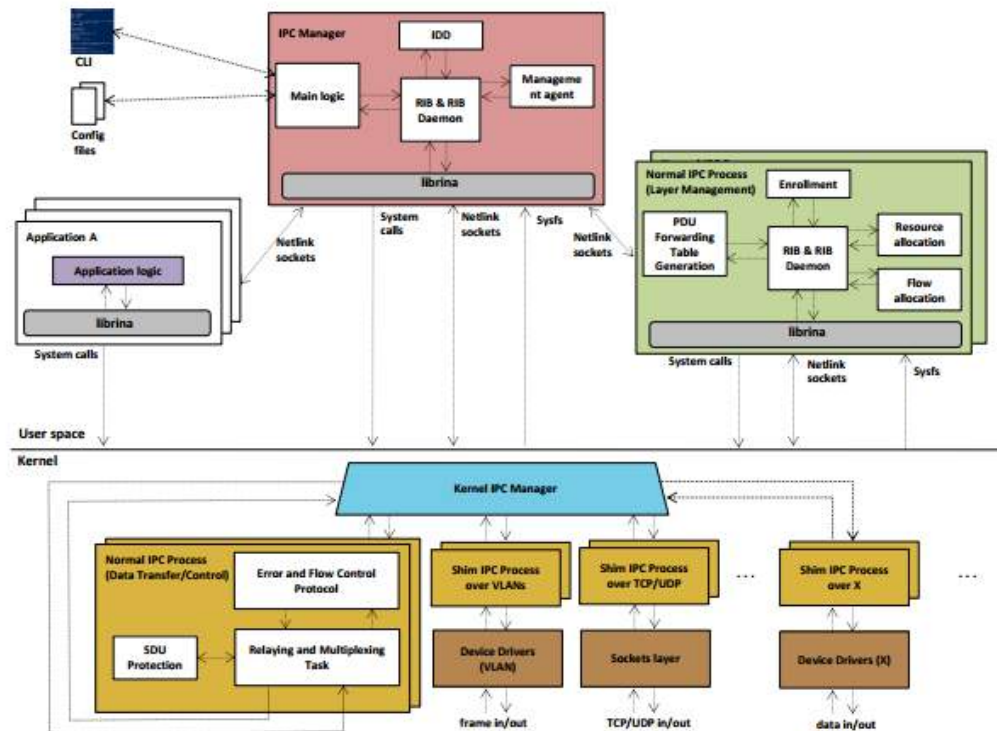


Figura 2: Arquitetura do protótipo IRATI.

Na arquitetura RINA o controle de acesso é realizado através do registro ou inscrição (*enrollment*) realizado por um IPC disponível na DIF. O controle de acesso permite que determinado processo IPC tenha acesso as informações ou objetos de outro processo IPC localizado na mesma DIF. A Figura 3 apresenta o processo de controle de acesso através do registro de dois IPCs. O registro é realizado através da solicitação de um processo (IPC B) já existente na DIF que vai autorizar ou não o solicitante (IPC A) a fazer parte da DIF para compartilhar informações através do protocolo CDAP. O registro é o processo pelo qual um IPC se junta a outro processo IPC com finalidade de compartilhar informações [Amdouni,2016].

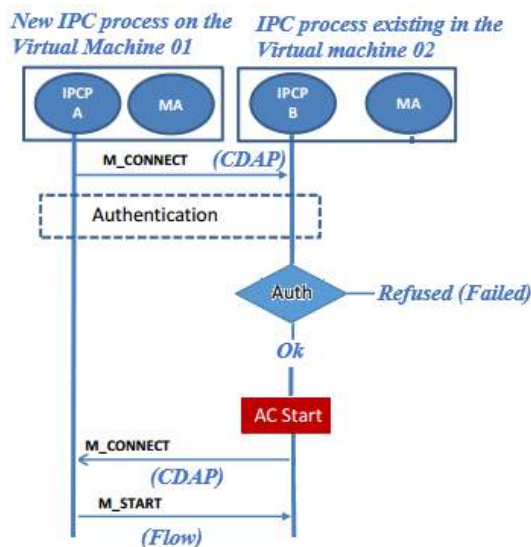


Figura 3: Controle de acesso de um novo processo IPC na DIF.

Para realizar o experimento do controle de acesso na arquitetura RINA foi necessária a instalação do protótipo IRATI nas máquinas virtuais (VMs) da ilha UFPE que compõe a rede FIBRE. Como o protótipo trabalha com os espaços de usuários e kernel foi necessária a instalação dos pacotes de softwares para o funcionamento correto do mesmo.

Diante disso, a Tabela 1 apresenta os pacotes de softwares do espaço do kernel instalados nas máquinas virtuais e que são fundamentais para utilizar os módulos dos componentes da arquitetura RINA. Por outro lado, a Tabela 2 apresenta os pacotes de softwares do espaço do usuário instalados nas VMs que tem como objetivo trabalhar na criação, exclusão, atualização e consulta dos processos IPCs como também utilizar ferramentas de geração de tráfegos de dados na arquitetura. Os pacotes completos bem como os procedimentos de instalação do protótipo podem ser verificados no endereço <https://github.com/IRATI/stack/wiki/Getting-Started>.

Tabela 1: Pacotes de softwares do espaço do kernel instalados nas VMs.

Pacotes de softwares	Finalidade
<i>kernel-package</i>	Pacote necessário para modificar o kernel padrão do sistema operacional para utilizar os módulos da arquitetura RINA.
<i>libncurses5-dev</i>	Pacote que contém bibliotecas estáticas necessárias no desenvolvimento do espaço do kernel.
<i>RINA Support</i>	Módulo que habilita o IPC Manager e demais outros módulos como o shim DIF tcp/udp no protótipo. Disponível no <i>menuconfig</i> .

Tabela 2: Pacotes de softwares do espaço do usuário instalados nas VMs

Pacotes de softwares	Finalidade
<i>Libtool</i>	Disponibiliza os comandos necessários para criar, excluir, atualizar, registrar e consultar processo IPC no IPC Manager
<i>Maven</i>	Ferramenta de compilação necessária para trabalhar com as aplicações <i>rinaperf</i> e <i>rina-echo-time</i> .
<i>Swig</i>	Software para comunicação com a biblioteca librina, principal biblioteca no espaço do usuário, que utiliza ferramentas de comunicação <i>rinaperf</i> e <i>rina-echo-time</i> [Vrijders, 2014]

O trabalho permitiu investigar alguns problemas nos templates das VMs, tais como o tipo de virtualização implementado na ilha UFPE, pois após a instalação do protótipo IRATI as máquinas não inicializavam usando virtualização total (HVM - *Hardware Virtual Machine*). Neste contexto, foi necessária realizar uma customização nos templates das VMs da ilha UFPE, mediante ajuda do suporte da RNP (Rede Nacional de Pesquisa) para que as máquinas virtuais carregassem os principais módulos, *shim-eth-vlan* e *shim-tcp-udp*, do protótipo corretamente. Feita a customização nos templates, as VMs foram inicializadas com o protótipo na versão do kernel 4.1.16. Diante dessa dificuldade encontrada e superada com sucesso, a Figura 4 apresenta a topologia lógica do experimento realizado referente ao controle de acesso na arquitetura RINA.

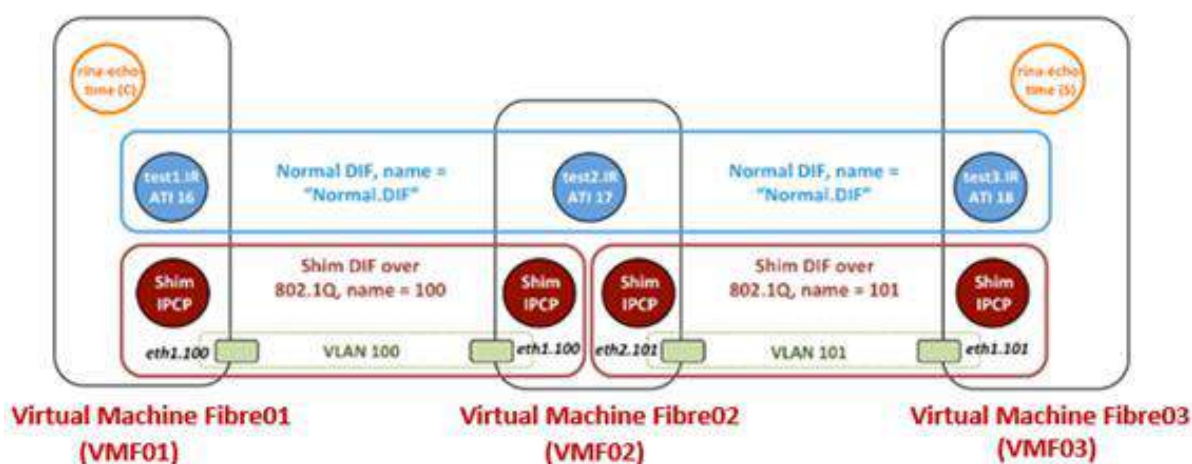


Figura 4: Experimento do controle de acesso solicitado pelo IPC “test3.IRATI” na DIF.

O experimento permitiu uma investigação e validação do controle de acesso dos processos IPCs, além da operação dos elementos da arquitetura através da utilização do protótipo IRATI no ambiente FIBRE. O protótipo apresenta uma console de gerenciamento denominada *IPC Manager* (IPCM) que permite executar diversas funcionalidades com os elementos da arquitetura RINA.

O objetivo do estudo foi avaliar de forma experimental o controle de acesso na DIF solicitado pelo processo “test3.IRATI” como também realizar a comunicação dos processos. A DIF existente “Normal.DIF” apresenta o processo IPC configurado como “test1.IRATI” disponível na VMF01 que autoriza o processo “test2.IRATI” disponível na VMF02. O registro do processo “test3.IRATI” só é validado com autorização dos processos “test1.IRATI” ou “test2.IRATI” que fazem parte da DIF. Após autorização, todos os processos podem compartilhar mensagens. As trocas dessas informações entre os processos IPCs são armazenadas em uma base de dados de cada processo a qual é denominada como RIB, conforme abordado anteriormente.

A Figura 5 apresenta o registro solicitado pelo processo “test2.IRATI” que foi autorizado com sucesso pelo processo IPC “test1.IRATI”, enquanto que a Figura 6 apresenta a consulta realizada na base de dados após a finalização com sucesso do controle de acesso concedido ao processo IPC “test3.IRATI”. Após o controle de acesso aceito com sucesso, os processos IPCs podem se comunicar através de mensagens utilizando o protocolo CDAP como também utilizando o protocolo EFCP.

```

IPCM >>> list-ipcps
Current IPC processes (id | name | type | state | Registered applications | Port-ids of flows provided)
  1 | test-eth-vlan:1:: | shim-eth-vlan | ASSIGNED TO DIF 100 | test1.IRATI-1-- | -
  2 | test1.IRATI:1:: | normal-ipc | ASSIGNED TO DIF normal.DIF | - | -

IPCM >>> enroll-to-dif 2 normal.DIF 100 test2.IRATI 1
DIF enrollment successfully completed
    
```

Figura 5: Screenshot do registro do processo IPC “test2.IRATI”.

Name: /dif/resourceallocation/nminusoneflowmanager/nminusoneflows/1; Class: nminusone flow; Instance: 18
Value: Local app name: test1.IRATI-1--Remote app name: test2.IRATI-1--
N-1 DIF name: 100; port-id: 1
 Flow characteristics: Jitter: 0; Delay: 0
 In order delivery: 0; **Partial delivery allowed: 1**
 Max allowed gap between SDUs: -1; Undetected bit error rate: 0
 Average bandwidth (bytes/s): 0; Average SDU bandwidth (bytes/s): 0
 Peak bandwidth duration (ms): 0; Peak SDU bandwidth duration (ms): 0

Name: /dif/resourceallocation/nminusoneflowmanager/nminusoneflows/2; Class: nminusone flow; Instance: 22
Value: Local app name: test2.IRATI-1--Remote app name: test3.IRATI-1--
N-1 DIF name: 101; port-id: 2
 Flow characteristics: Jitter: 0; Delay: 0
 In order delivery: 0; **Partial delivery allowed: 1**
 Max allowed gap between SDUs: -1; Undetected bit error rate: 0
 Average bandwidth (bytes/s): 0; Average SDU bandwidth (bytes/s): 0
 Peak bandwidth duration (ms): 0; Peak SDU bandwidth duration (ms): 0

Figura 6: Consulta na RIB do controle de acesso realizado com sucesso

Finalizado o procedimento que realiza o controle de acesso, foi sucedida a comunicação entre os processos IPCs disponíveis nas VMs. Neste contexto foi realizado a comunicação dos processos IPCs “test1.IRATI” e “test3.IRATI” utilizando o protocolo de transferência de dados e que pode ser visualizada na Figura 7, por outro lado as informações armazenadas na RIB referentes alocação dos fluxos dos processos citados podem ser observadas através da Figura 8.

```

14170(1459868015)#librina.logs (DBG): New log level: INFO
14170(1459868015)#librina.nl-manager (INFO): Netlink socket connected to local port 14170
Flow allocation time = 11.056 ms
SDU size = 20, seq = 0, RTT = 1.7694 ms
SDU size = 20, seq = 1, RTT = 11.649 ms
SDU size = 20, seq = 2, RTT = 17.942 ms
SDU size = 20, seq = 3, RTT = 19.073 ms
SDU size = 20, seq = 4, RTT = 11.801 ms
SDU size = 20, seq = 5, RTT = 12.165 ms
SDU size = 20, seq = 6, RTT = 15.813 ms
SDU size = 20, seq = 7, RTT = 10.781 ms
SDU size = 20, seq = 8, RTT = 12.703 ms
SDU size = 20, seq = 9, RTT = 12.906 ms
SDU size = 20, seq = 10, RTT = 11.019 ms
SDU size = 20, seq = 11, RTT = 3.0129 ms
SDU size = 20, seq = 12, RTT = 15.47 ms
SDU size = 20, seq = 13, RTT = 10.078 ms
SDU size = 20, seq = 14, RTT = 15.415 ms
SDUs sent: 15; SDUs received: 15; 0% SDU loss
Minimum RTT: 1.7694 ms; Maximum RTT: 19.073 ms; Average RTT:12.107 ms; Standard deviation: 4.7546 ms
SDUs sent: 0; SDUs received: 0; 0% SDU loss
Minimum RTT: 2.1475e+09 ms; Maximum RTT: 0 ms; Average RTT:0 ms; Standard deviation: -0 ms
    
```

Figura 7: Screenshot da comunicação dos processos IPCs.

```

810(1460028952)#ipcp[2].resource-allocator (INFO): IPC Process registered to N-1 DIF 100
810(1460029165)#librina.irm (INFO): Requested the allocation of N-1 flow to application
test2.IRATI-1 through DIF 100
815(1460030143)#ipcp[2].resource-allocator (INFO): IPC Process registered to N-1 DIF 100
815(1460030177)#librina.irm (INFO): Requested the allocation of N-1 flow to application
test2.IRATI-1 through DIF 100
815(1460030389)#librina.irm (INFO): Requested the allocation of N-1 flow to application
test2.IRATI-1 through DIF 100
804(1460029165)#ipcm.flow-alloc (INFO)[flow_allocation_requested_local]: IPC process test-
ethvlan:1:: requested to allocate flow between test3.IRATI:1:: and test1.IRA$

```

Figura 8: Consulta na RIB da comunicação dos processos IPCs

Portanto, o experimento permitiu explorar a base de dados RIB analisando as informações registradas dos processos IPCs, inclusive a solicitação e autorização de acesso na DIF. Além disso, o experimento proporcionou também analisar a proposta RINA utilizando os recursos do ambiente FIBRE através da ilha UFPE como também instigar pesquisadores a trabalhar com a arquitetura proposta para Internet do Futuro em outras frentes de pesquisas que pode ser realizada sobre o ambiente FIBRE.

Neste contexto, as linhas de pesquisas que podem ser trabalhadas são as áreas de roteamento, segurança e controle de congestionamento na arquitetura RINA em múltiplas ilhas que compõe a rede FIBRE. Desta forma, o experimento possibilitou investigar o protótipo IRATI na rede de experimentação com a possibilidade de empilhar diferentes DIFs cada qual oferecendo os mesmos mecanismos relacionados aos protocolos EFCP e CDAP, porém com funcionalidades distintas como, por exemplo, políticas de alocação de fluxos para o protocolo EFCP e mecanismos de controle de acesso referente ao protocolo CDAP.

4. Conclusões e trabalhos futuros

O presente artigo apresentou um estudo realizado com protótipo do projeto IRATI utilizando ambiente FIBRE por intermédio da ilha UFPE com finalidade de demonstrar, através da prática, a operação dos elementos que fazem parte da arquitetura RINA, além disso permitiu investigar a maneira como é realizada o controle de acesso do processo IPC na DIF e, posteriormente, a comunicação dos processos.

Um dos desafios com protótipo IRATI é a criação de cenários mais promissores que permitem analisar outras áreas na arquitetura RINA como segurança, roteamento e *multihoming*. A criação das diversas políticas, como as de roteamento e controle de congestionamento, permitem explorar as funcionalidades da arquitetura aproveitando a infraestrutura do ambiente FIBRE utilizando várias ilhas que compõe a rede.

Como trabalho futuro, pretende-se realizar um estudo comparativo do desempenho do serviço de transferência de dados nas arquiteturas de redes RINA e TCP/IP, além de explorar os mecanismos de transferência de dados nas arquiteturas.

Referências

- Amdouni, Ichrak et al (2016). Exploring the flexibility of network access control in the recursive InterNetwork Architecture. In: Communications (APCC), 2016 22nd Asia-Pacific Conference on. IEEE. p. 559-566.
- Bergesio, Leonardo. Prototipo de RINA sobre Ethernet. 2013. Dissertação de Mestrado. Universitat Oberta de Catalunya.
- Day, J. (2008). Patterns in network architecture: a return to fundamentals. Pearson Education.
- Grasa, E., et al (2011). Design principles of the Recursive InterNetwork Architecture (RINA).
- Grasa, Eduard et al. Developing a RINA prototype over UDP/IP using TINOS. In: Proceedings of the 7th International Conference on Future Internet Technologies. ACM, 2012. p. 31-36.
- Luiz, C., & Monteiro, J. A. (2016). Investigação do Protótipo ProtoRINA utilizando o Ambiente FIBRE. In Anais do WPEIF 2016 Workshop de Pesquisa Experimental da Internet do Futuro (p. 29).
- Moreira, M. D., Fernandes, N. C., Costa, L. H. M. K., & Duarte, O. C. M. B. (2009). Internet do futuro: Um novo horizonte. Minicursos do Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores-SBRC, 2009, 1-59.
- Van Leur, J. Klomp, Recursive InterNetwork Architecture, An Assessment of the IRATI Implementation. (2015) [Online] Disponível em: <http://www.delaat.net/rp/2015-2016/p22/report.pdf>. Acessado em: 10 de outubro de 2016.
- Vesely, Vladimir et al. Your Recursive InterNetwork Architecture Simulator. arXiv preprint arXiv:1509.03550, 2015.
- Vrijders, Sander et al (2014). Prototyping the recursive internet architecture: the IRATI project approach. IEEE Network, v. 28, n. 2, p. 20-25.
- Wang, Yuefeng et al. Recursive InterNetworking Architecture (RINA) Boston University Prototype Programming Manual (version 1.0). Computer Science Department, Boston University, 2013.

4º ENCompIF - Encontro Nacional de Computação dos Institutos Federais

Apresentação

O 4º Encontro Nacional de Computação dos Institutos Federais (ENCompIF) será realizado em conjunto com o XXXVII Congresso da Sociedade Brasileira de Computação em São Paulo. O ENCompIF tem por objetivo reunir professores e alunos de ensino médio dos Institutos Federais e outras instituições que ofereçam cursos técnicos em informática.

O evento tem recebido um grande número de artigos em todas as suas edições e tem sido uma excelente oportunidade para a troca de experiências entre os participantes e um estímulo a integração e estabelecimento de parcerias entre professores e alunos e diferentes Institutos Federais e outras instituições. O público participante do evento foi de aproximadamente 200 pessoas, entre palestrantes e ouvintes, em cada edição do evento.

Comitê Organizador

Coordenação Geral

Carlos Roberto de Oliveira Junior (IFRJ)

Coordenação do Comitê de Programa

Marcelo Rafael Borth (IFPR)

Coordenação Local

Takato Kurihara (Mackenzie)

Palestras

Pesquisa Qualitativa em Computação

Mariano Pimentel (UNIRIO), Marcelo Fornazin (UFF)

Nessa palestra, discutiremos os motivos, os procedimentos e os fundamentos epistemológicos-metodológicos para se fazer pesquisa qualitativa em computação.

Em pesquisas quantitativas, coletamos dados numéricos de um determinado fenômeno a fim de medi-lo objetivamente. Tais dados compreendem, por exemplo, o intervalo de tempo para caracterizar a performance, a quantidade de acertos e erros para caracterizar a eficácia, o custo e a quantidade de recurso (dinheiro, pessoas, horas) para caracterizar o esforço, medidas sobre o tamanho (linhas de código, pontos de função) para caracterizar o sistema computacional, dentre outras medidas. A medição objetiva de um fenômeno filia-se à tradição do pensamento positivista, o qual tem origem no renascentismo e foi fundamental para o desenvolvimento da sociedade moderna. A prática de medir objetivamente a realidade baseia-se em métodos das ciências exatas, sendo muito comum na computação e na engenharia (incluindo a engenharia de software) e necessária para as pesquisas objetivas voltadas para o desenvolvimento de uma técnica.

Contudo, medições objetivas de uma realidade exterior, embora tenham tido grande êxito na produção do conhecimento e no desenvolvimento de técnicas, podem ser problemáticas quando endereçamos questões que envolvem tecnologia, pessoas e organizações. Diferente de matérias inanimadas, componentes químicos e material biológico, as pessoas muitas vezes não reagem da mesma maneira após a realização de um experimento científico; ou seja, elas aprendem com o experimento e mudam seus comportamentos. Além disso, as pessoas e sistemas de informação não podem ser facilmente separadas do seu contexto de vida e uso para realização de pesquisa em laboratório. Desse modo, as metodologias qualitativas podem ser mais eficazes no sentido de se produzir conhecimento relevante a partir da investigação de Sistemas de Informação inseridos nas organizações e na sociedade. Assim podemos interrogar o que os usuários acham do sistema experienciado, como aquele sistema computacional modifica as práticas dos atores e as relações entre eles, que fenômenos emergem com o uso do sistema, o que precisa melhorar, dentre outros aspectos cuja complexidade não pode ser reduzida a um número.

A pesquisa qualitativa, embora também possa ser realizada numa perspectiva positivista, também pode ser empregada com base em outros paradigmas, como, por exemplo, o interpretativo e o sociotécnico. Nesses casos, para compreendermos os sistemas computacionais como artefatos sociotécnicos (e não apenas técnicos), usados por pessoas num dado contexto e numa dada cultura, precisamos conversar com os usuários (livremente ou por meio de entrevista ou grupo focal), realizar observação direta das pessoas usando o sistema computacional em suas atividades cotidianas reais e interagir com os usuários para juntos compreender o artefato sociotécnico. Torna-se necessário

interpretar (em vez de medir) os discursos produzidos pelos usuários e suas ações praticadas (registradas em anotações, vídeo ou log do uso do sistema). A pesquisa deve ser concebida e realizada a partir de abordagens epistemológicas-metodológicas de perspectiva subjetiva.

Algumas abordagens, como Estudo de Caso Interpretativo, Pesquisa-Ação, Design Science Research, Teoria Fundamentada em Dados (Grounded Theory) e Teoria Ator-Rede, possibilitam investigações voltadas à subjetividade, endereçando os sistemas de informação em seu contexto de uso. Além disso, essas abordagens possuem critérios próprios para aferição de seu rigor e relevância, tais como autenticidade, plausibilidade e reflexividade. O mais importante, ao se fazer pesquisa qualitativa, é o pesquisador saber se posicionar e defender suas escolhas para a sua prática de pesquisa.

Trabalhos aceitos

Levantamento de requisitos no desenvolvimento de jogos

Airon Wellington Lima dos Santos, Fábio de Jesus Lima Gomes

Proposta de Framework de Gerenciamento Ágil de Projetos do Grupo de Pesquisa em Engenharia de Software do IFPB

Alexandre D. S. Morais, Carlos Diego Q. Lima, Helder J. L. Rangel, Heremita B. Lira, Nadja N. Rodrigues, Samyra L. F. Almeida, Tiago C. Barbosa

BlueHelp

Marcelo Machado Cunha, Leila Couto de Matos Buarque, Alisson Oliveira Neves, Bruno Silva, Jadir Arnaldo Júnior

Frequência x Evasão: Proposta de protótipo para detecção de alunos em sala de aula.

Prof. Msc. Ubirajara C. L. Junior, Profa. Msc. Mônica Farias. M. Vicente

Sabarabuçu: Um jogo digital educacional, cultural e ambiental para o município histórico de Sabará

Pedro A. Lourenço, Lucas P. Leal, Estela M. P. Diaz, Carlos A. Silva

Uma Ferramenta Baseada em Agentes Inteligentes Aplicada ao Estudo do Sistema Imunológico Humano

Marcelo José S. C. de Almeida, Paula F. C. P. de Freitas, Juan Victor L. B. e Barros, Gustavo B. Ribeiro, Myllena A. H. da Silva, Rerisson D. C. S. Matos

Uma avaliação da eficiência energética de uma Rede de Sensores Sem Fios em relação ao posicionamento do nó sink

Melissa Bonfim Alcantud, César Alberto da Silva, Andrea Padovan Jubileu, Linnyer Beatryz Ruiz

Projeto GardenTech: Uma Plantação Residencial Tecnológica de Baixo Custo

Cleyton C. Gomes, Gustavo M. Moreira, Gabriel J. S. Souza, Lúcio F. S. Zebendo, Vinícius M. Vieira, Anderson F. Souza, Rafael E. L. Escalfoni

Pharmabook – Um Ambiente Colaborativo para Pesquisa de Preços e Controle de Estoque Pessoal de Medicamentos

Rafael V. B. Ferreira, Irlon S. Lamblet, Carolina L. Aguilar, Luis C. B. Silva, Rafael E. L. Escalfoni

Objeto de Estudo de Letramento (OEL), um objeto de aprendizagem para auxílio a alfabetização infantil

Kaio Alexandre da Silva, Luis Filipe de Castro Sampaio, Saimor Raduan Araújo Souza, Lucas Felipe Alves de Araújo, Silvio Luiz de Freitas, Marcel Leite Rios

Matemática para Alunos Autistas, um Estudo Sobre a Utilização de Ferramentas Tecnológicas no Processo de Ensino e Aprendizagem

Anderson Daniel Stochero, Bruna Willig Kopplin, Cristiane da Silva Stamberg, Andréa Pereira

Desenvolvimento de jogos com uso de Pensamento Computacional e Aprendizagem Baseada em Projetos

Jhoisnáyra V. R. de Almeida, Marcos Vitor C. B. Nunes, Francisco Marcelino A. Almeida

Algoritmo Genético aplicado ao problema de alocação/localização de facilidades

Tarcísio Barroso Marques, Otho Garcia da Silva Neto, Daniel da Silva Diniz

Desenvolvimento de Tecnologias Assistivas Para Imersão de Deficientes Visuais em Ambientes Educacionais

Gbson R. Scantlebury, Leonardo P. Vieira, Emmerson S. R. Silva, Jucimar B. Souza

Sistema de monitoramento de energia Elétrica através da tecnologia do arduino

Alessandro Vareiro Do Amaral, Denis Henrique de Deus Lima, Sávio Vinícius Albieri Barone Cantero

Um Ambiente Virtual Aplicado ao Ensino e Pesquisa em Arquitetura e Organização de Computadores

Guilherme Esmeraldo, Edson Barbosa Lisboa

Vegeryday – Uma aplicação de auxílio à alimentação vegetariana

Giovana Santos, Alex Mulattieri Suarez Orozco, Alysson Hubner, Ricardo Luis dos Santos

Experiência de Gamificação na Organização dos Trabalhos de Conclusão de um Curso Técnico em Informática

Gian Luca Motta Flores, Ângelo Nery Vieira Crestani, Rudieri Dietrich Bauer, Jaline Gonçalves Mombach

Levantamento de requisitos no desenvolvimento de jogos

Airon Wellington Lima dos Santos¹, Fábio de Jesus Lima Gomes²

¹Unidade de Tecnologia e Segurança da Informação (UNITEC)
Secretaria Estadual de Fazenda – Governo do Piauí – Teresina, PI – Brasil

²Departamento de Informação, Ambiente, Saúde e Produção Alimentícia (DIASPA)
Instituto Federal do Piauí (IFPI) – Campus Teresina Central – Teresina, PI – Brasil

aironwellington@gmail.com, fabio@ifpi.edu.br

Abstract. *The development of digital games requires the participation of a wide range of area: musician, graphics, programming, history and much others. When analyzing the game create process, find out engineering software application, includes requirements engineering. This paper aims to show the best practices of requirements engineering on the games creation process.*

Resumo. *O desenvolvimento de jogos digitais exige o envolvimento de diversas áreas: música, gráficos, programação, enredo, artes e muitos outros. Ao analisar o processo de criação de jogos pode-se constatar a aplicação de várias práticas de Engenharia de Software (ES), incluindo métodos da engenharia de requisitos (ER). O objetivo desse artigo é mostrar boas práticas da ER no processo de criação de jogos.*

1. Introdução

Sistemas de software são recursos imprescindíveis nas empresas principalmente pelo papel estratégico em que foram incorporados. Sua construção e manutenção exigem organização e um conjunto de técnicas que quando utilizadas dão uma margem maior ao tempo de vida/sucesso desses softwares. Necessita-se que estes sistemas estejam completamente de acordo com os requisitos listados pelos clientes. Neste contexto, o processo pelo qual os requisitos de um produto de software são coletados, analisados, documentados e gerenciados ao longo do seu ciclo de vida é chamado de Engenharia de Requisitos (ER) [Sommerville 2008].

A ER é aplicada na construção de softwares convencionais, que são aqueles voltados para comércio, indústria, saúde e outros mercados existentes e que partem de um problema inicial até ser transformado em uma solução tecnológica. Entretanto, jogos digitais possuem perspectivas diferentes dos convencionais sistemas de software, apesar de se tratar de um tipo de software, eles são feitos na maioria dos casos para proporcionar diversão, interatividade e lazer. Não existe um problema inicial, a qual eles se propõem a solucionar, há somente a premissa de que devem absorver o máximo de atenção dos seus usuários.

O objetivo deste trabalho é auxiliar os profissionais envolvidos no desenvolvimento de um jogo digital na escolha dos melhores métodos de levantamento de requisitos. A organização do conteúdo abordado neste artigo foi feita da seguinte forma: a seção 2 discorre sobre o desenvolvimento de jogos digitais de uma maneira geral. A seção 3 enfatiza a ER no desenvolvimento de jogos digitais. A seção 4 apresenta os resultados e discussões oriundos deste trabalho e na seção 5 encontra-se uma proposta de trabalhos futuros.

2. O Desenvolvimento de Jogos Digitais

Hoje, o processo de desenvolvimento de jogos digitais não é trivial e deve ser tratado de maneira peculiar, dada a natureza do produto final, a multidisciplinaridade das áreas envolvidas, e ainda o conjunto de ativos que são produzidos durante o processo. [Kanode et al. 2009] definiu 3 fases no processo desenvolvimento de jogos digitais, são elas: pré-produção, produção e teste.

A pré-produção é a fase onde se realiza a concepção de um jogo e de um dos ativos mais importantes, o *game design document* (GDD). O GDD é um trabalho criativo escrito pelo time de *design* do jogo e deve ser bem detalhado, mas não necessariamente formal, ou seja, sua estrutura não precisa obedecer a um esqueleto previamente estabelecido ou a uma notação matemática dos programadores. O GDD pode ser considerado um documento de requisitos, cuja estrutura não deve ser rigorosamente padronizada, pois se argumenta que a sua estruturação pode ser altamente prejudicial para a criatividade, e pode prejudicar os elementos intangíveis que criam a experiência agradável para os jogadores.

A produção é onde a maioria dos ativos é criada, incluindo o código do jogo. Esta fase pode ser problemática se o GDD construído na fase anterior não estiver completo e coeso. Na produção, os desenvolvedores podem produzir protótipos, incrementos e/ou iterações do jogo.

A fase de teste é geralmente a última antes de o jogo ser disponibilizado para o mercado. A fase de teste tem como objetivo explorar o máximo dos recursos do jogo. A Figura 1 mostra o gráfico de demonstração do processo de desenvolvimento de jogos com a relação entre o nível de abstração e cada fase do processo.

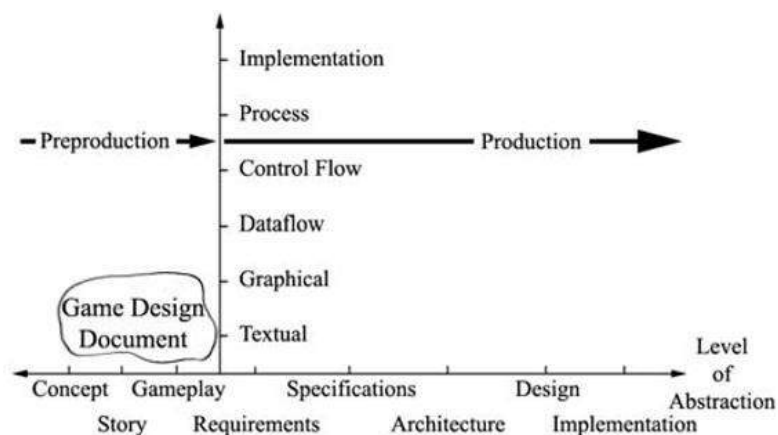


Figura 1. Processo de desenvolvimento de jogos digitais [Callele, et. al 2005]

3. Engenharia de Requisitos no Desenvolvimento de Jogos Digitais

A ER é o processo que tem como objetivo criar e manter um documento de requisitos de sistema de software [Sommerville 2008]. Geralmente a ER aborda quatro subprocessos de alto nível: o estudo de viabilidade, obtenção de requisitos, conversão dos requisitos em uma forma padrão e validação desta forma padrão. Para os jogos digitais a atividade de estudo de viabilidade pode ser feita durante a elaboração do projeto, antes de iniciar a atividade propriamente dita de desenvolvimento do jogo, durante a elaboração do projeto em nível de gerenciamento.

Assim que o estudo de viabilidade estiver completo e o projeto possuir a aprovação dos gerentes começa-se a fase de pré-produção. Ao final desta fase deve ser disponibilizado o documento de requisitos e o GDD. Os engenheiros de sistemas, analistas e todos os interessados no projeto devem participar da obtenção de requisitos.

No desenvolvimento de jogos digitais, principalmente na fase de pré-produção é confeccionada a especificação de requisitos, documento cujo objetivo principal é elencar requisitos funcionais (funcionalidade do sistema) e requisitos não funcionais (comportamento do sistema, por exemplo: tempo de resposta, disponibilidade, entretenimento) e requisitos de domínio (comportamento do sistema relativo à área em que está relacionado, por exemplo, movimentos de um personagem dentro do jogo). Além de conter requisitos, o documento deve ser estruturado de tal forma que os desenvolvedores do sistema possam simplesmente preocupar-se com a programação.

A transformação do GDD em especificação de requisitos é considerada a fase mais complexa durante o desenvolvimento do jogo uma vez que não há técnicas estabelecidas para elicitación de requisitos emocionais. Outro fator importante ao elaborar o documento de requisitos é que utilizar *feedbacks* contínuos e fazer uso de engenharia de maneira proativa no desenvolvimento de jogos pode prover retornos da produção para pré-produção em resposta da otimização de versões iniciais de documentação da pré-produção.

Dentro do processo de obtenção de requisitos deve-se (1) identificar os interessados, (2) reconhecer o ponto de vista e (3) trabalhar em busca de colaboração. [Pressman 2012] defende que são essas as etapas necessárias para estabelecer as bases para um entendimento dos requisitos de software e para que o projeto avance na direção de uma solução bem sucedida.

Neste intuito, é possível realizar *workshops* entre as equipes e pedir para que um usuário final (jogador) do sistema seja o facilitador. O *workshop* tem o objetivo de acionar o trabalho em equipe. Uma técnica bastante utilizada dentro do workshop é o *brainstorming*. O *brainstorming* é uma técnica que consiste em uma ou várias reuniões onde os participantes podem sugerir e explorar ideias. Ao final do *workshop* são produzidos documentos que refletem os requisitos e decisões tomadas sobre o jogo.

Atualmente, jogos digitais utilizam diversos tipos de tecnologias de terceiros, como *engines*¹, animações de personagens, e outros tipos de componentes. Esses tipos de recursos facilitam a construção de protótipos e diminuem custos. Com isso é muito comum utilizar a prototipagem no desenvolvimento de jogos digitais. A prototipagem tem por objetivo explorar aspectos críticos dos requisitos de um produto, implementando de forma rápida um pequeno subconjunto de funcionalidades.

Outra técnica que pode ser utilizada para capturar requisitos é o JAD (*Joint Application Design*). O JAD é uma técnica para promover cooperação, entendimento e trabalho em grupo entre os usuários desenvolvedores. O JAD facilita a criação de uma visão compartilhada do que o produto de software deve ser. Através da sua utilização os desenvolvedores ajudam os usuários a formular problemas e explorar soluções.

É importante ressaltar que as técnicas aqui apresentadas são aplicadas na fase de elaboração do documento de requisitos, ou seja, o processo de criação do GDD. Os responsáveis por este processo são os artistas e *designers*. Uma das fases mais críticas de muitos projetos é a transição do GDD para o documento de requisitos, pois os erros cometidos nesta transição podem implicar no fracasso da implementação do projeto.

4. Resultados e Discussões

Com base nas técnicas de ER descritas nos trabalhos expostos ao longo deste artigo concluímos que as melhores práticas para elencar requisitos de jogos digitais são

¹ Uma *engine* é uma biblioteca com um pacote de funcionalidades que são disponibilizadas para facilitar o desenvolvimento de um jogo, fornecendo um bom visual e diversos itens da jogabilidade, tais como, o sistema de colisão entre personagens e objetos e a inteligência artificial de inimigos ou parceiros.

aquelas em que a equipe multidisciplinar consegue mitigar a disparidade de desenvolvimento de cada subárea envolvida no processo de criação de jogos de vídeo.

Algumas práticas de levantamento de requisitos para jogos digitais são: JAD, prototipagem, *brainstorming* e *workshops*, uma vez que conduzem os desenvolvedores à cooperação na fase de produção do GDD e especificação de requisitos.

É importante ressaltar que apesar das técnicas mencionadas serem consideradas práticas adequadas no processo de criação de ativos na fase de pré-produção de jogos, elas não estabelecem um protocolo que atenda o processo como um todo, uma vez que a criação de jogos envolve também requisitos não funcionais como jogabilidade, entretenimento e diversão.

5. Trabalhos Futuros

As limitações referentes ao presente estudo deixam em aberto a necessidade de formalizar as técnicas apresentadas no desenvolvimento de jogos digitais. É difícil definir qual a melhor técnica a se utilizar, precisando-se realizar uma análise minuciosa de cada uma delas, conhecendo suas limitações e vantagens. Idealmente, necessita-se aplicar essas técnicas em empresas profissionais de desenvolvimento de jogos digitais para avaliar os resultados obtidos com o uso de cada uma.

Em suma, a perspectiva de trabalho futuro está relacionada a explorar em detalhes as técnicas aqui apresentadas através da criação de um questionário *online* destinado a empresas de desenvolvimento de jogos digitais, onde os usuários (empresas) devem informar quais técnicas vem utilizando no desenvolvimento de jogos e como é o passo-a-passo de aplicação da técnica informada na sua empresa. As respostas obtidas com o questionário servirão como indicadores de qualidade para as práticas que mais são utilizadas, e ao mesmo tempo servirão de apoio para aqueles que pretendem aderir ao uso das melhores práticas e desejam saber como utilizá-las.

Esses indicadores e informações de apoio serão baseados nos resultados obtidos por meio das empresas e assim teremos condições de nortear os interessados neste assunto de forma mais segura e precisa sobre como fazer o levantamento de requisitos no processo de desenvolvimento de jogos digitais.

Agradecimentos

Agradecemos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Piauí (FAPEPI) pelo auxílio financeiro concedido para a apresentação deste trabalho no evento.

Referências

- CALLELE, D.; NEUFELD, E.; SCHNEIDER, K. (2005) Requirements Engineering and the Creative Process in the Video Game Industry. In: 13th IEEE International Conference on Requirements Engineering, Washington, DC, USA. Proceedings: IEEE Computer Society, 2005. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=1531045>>. Acesso em: 30 ago 2016.
- KANODE, C. M.; HADDAD, H. M. (2009) Software Engineering Challenges in Game Development. In: 6th IEEE International Conference on Information Technology: New Generations, Las Vegas, USA. Proceedings: IEEE Computer Society, 2009. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=5070627>>. Acesso em: 30 ago 2016.
- PRESSMAN, R.S.; MAXIM, B. R. (2016) Engenharia de Software: Uma abordagem Profissional. 6ª. Edição. Editora McGraw Hill - Bookman.
- SOMMERVILLE, I. (2011) Engenharia de software. 9ª edição. Editora Pearson.

Proposta de *Framework* de Gerenciamento Ágil de Projetos do Grupo de Pesquisa em Engenharia de Software do IFPB

Alexandre D. S. Morais, Carlos Diego Q. Lima, Helder J. L. Rangel, Heremita B. Lira, Nadja N. Rodrigues, Samyra L. F. Almeida, Tiago C. Barbosa

Instituto Federal da Paraíba - IFPB - Campus João Pessoa
Unidade Acadêmica de Informática
CEP: 58.015-020 – João Pessoa – Paraíba – PB – Brasil

{alexandre.dias, tiago.cesario, helder.rangel, samyra.lara}@academico.ifpb.edu.br, {carlos.quirino, heremita, nadja.rodrigues}@ifpb.edu.br

Resumo. *Diante da diversidade de boas práticas para gerenciar projetos foi percebida, pelo Grupo de Pesquisa de Engenharia de Software do IFPB, a necessidade de criar um framework de gerenciamento de projetos para gerenciar e sincronizar os resultados dos vários projetos do grupo em execução paralelamente, através de um método hipotético-dedutivo, tendo como resultado a proposta inicial do framework e sua aplicação nos projetos.*

1. Introdução

Há no mercado inúmeras propostas de métodos, técnicas e ferramentas para o Gerenciamento de Projetos de Software (GPS), entretanto, um dos grandes problemas ou desafios é identificar e integrar as boas práticas do GPS em um framework de Gerenciamento Ágil de Projetos (GAP) de forma a atender às necessidades de um cenário específico de produção de software. Atualmente no Grupo de Pesquisa de Engenharia de Software do IFPB¹ (GPES-IFPB) estão em andamento três projetos de pesquisa: Repositório de Práticas em Gerenciamento de Projeto de Software (RPGPS) (Morais et al., 2016); Repositório de Práticas em Processos de Desenvolvimento de Software (RPPDS) (Silva et al., 2016); e Ambiente de Boas Práticas Reconfiguráveis em Engenharia de Software (ABPRES) (Almeida et al., 2016), neste desenvolve-se uma plataforma web para disponibilizar todas as boas práticas identificadas nos dois primeiros projetos. De acordo com o Project Management Institute (PMI, 2016) o nível estratégico das organizações vêm percebendo os benefícios do uso de boas práticas/metodologias para gerir seus projetos.

Neste cenário, e considerando que as boas práticas de GPS são conceitos vitais para a indústria de software, o problema ou questão a ser investigada é “Qual *framework* deve ser utilizado no gerenciamento ágil dos projetos de pesquisa e desenvolvimento do GPES-IFPB?”. Um *framework* é uma “mini-arquitetura” reutilizável que fornece a estrutura genérica e o comportamento para uma família de abstrações de software (Pressman et al., 2016). Com isso, o objetivo deste trabalho é apresentar uma proposta de *Framework* de Gerenciamento Ágil de Projeto (FGAP) para o GPES-IFPB.

¹ "GPES-IFPB Grupo de Pesquisa, Desenvolvimento e Extensão em Engenharia de Software"
<http://dgp.cnpq.br/dgp/espelhogrupo/0686408453733553>.

2. Metodologia

De acordo com Prodanov e Freitas (2013), considerando a metodologia de pesquisa científica, este projeto é de Natureza Aplicada, pois produz conhecimentos para aplicação prática dirigidos à solução de problemas específicos. O Método Científico utilizado é o Hipotético-Dedutivo, onde são formuladas hipóteses para expressar as dificuldades do problema, deduzindo consequências que devem ser testadas ou falseadas. Considerando o Objetivo do Estudo, podemos classificar este projeto de pesquisa como Exploratório, pois visa proporcionar maior familiaridade com o problema, explicitando-o ou construindo hipóteses sobre ele. A abordagem de pesquisa adotada é Quali-quantitativa e os principais Procedimentos Técnicos utilizados são: Pesquisa Bibliográfica, Levantamento de Dados, Estudo de Caso e Pesquisa Participante.

Do ponto de vista de execução, o projeto é desenvolvido de forma iterativa e incremental, com entregas parciais trimestrais, nos seguintes passos: Levantamento e Estratificação das Informações; Disponibilização das Informações no Repositório de Boas Práticas; Validação; Qualificação Continuada dos Pesquisadores; e, Elaboração de Relatórios e Artigos dos resultados para registro e publicação (Morais et al., 2016).

3. Framework de GAP do GPES-IFPB

O FGAP está sendo desenvolvido utilizando como base o Scrum e as boas práticas identificadas nos projetos RPGPS e RPPDS, bem como considerando a participação dos pesquisadores no desenvolvimento no projeto do ABPRES. As ferramentas de GPS usadas são: o Trello², para as atividades de pesquisa dos projetos; e o Taiga³, para gerenciar as atividades de desenvolvimento de software. Foi usado também ferramentas do Google e Whatsapp como estratégias de comunicação.

As reuniões do projeto são feitas a partir de três distintos tipos de encontros, sendo eles: Reunião Diária Informal; Reunião Semanal Virtual e Reunião Semanal Presencial, onde uma vez durante a semana toda a equipe se reúne na instituição de ensino para dúvidas e decisões sobre o andamento do projeto. A reunião é cronometrada e possui pautas e atas digitais, essas mesmas são feitas anteriormente e previamente avisadas aos demais da equipe e são disponibilizadas no repositório do Google Drive.

Conforme apresentado na Figura 1, o FGAP se inicia com a criação de um *Project Model Canvas* (PMC), pois é necessário definir, entender e visualizar melhor o projeto para começar a gerenciá-lo. O *Product Backlog* (PB) é o segundo passo e também o mais longo. Nele são definidas as histórias de usuário, suas estimativas e respectivos graus de importância, através de reuniões presenciais, onde participam o Gerente de Projetos, o *Scrum Master*, a equipe e o *Product Owner*. Para criação do PB foi utilizada a ferramenta de gerenciamento de projetos Taiga. Na etapa da Sprint Backlog são feitas as seguintes atividades: história de usuário, divisão das histórias de usuário em sprints e a transformação de cada história do usuário em atividades.

² "Trello." <https://trello.com/>.

³ "Taiga.io." <https://taiga.io/>.

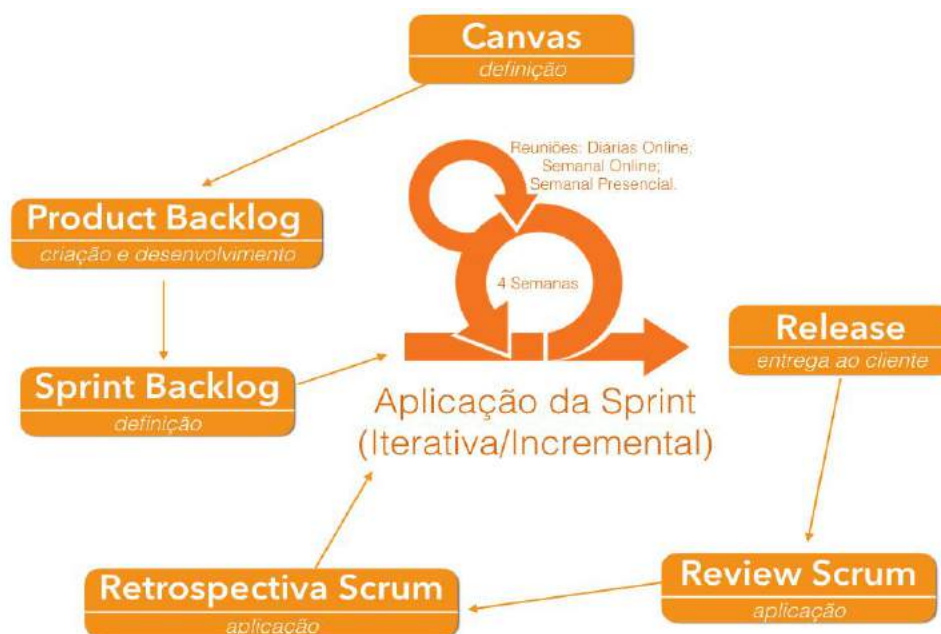


Figura 1. Visão Geral do FGAP do GPES-IFPB.

Ao final de cada *sprint* é feita a *Review Scrum* que apresenta os resultados da *sprint* para o *Product Owner* em uma demonstração envolvendo todos os envolvidos. E por fim, a *Retrospectiva Scrum*, que fornece novamente à equipe a oportunidade de analisar a *sprint* finalizada e sugerir melhorias de acordo com as boas práticas do GP. O FGAP ajuda o gerente de projetos e demais envolvidos a se organizar e seguir passo a passo o andamento do projeto e de cada *sprint*.

4. Resultados e Discussão

Durante as revisões e retrospectivas da primeira e segunda *sprint* foi usada a boa prática de GPS chamada *WWW* (Campos, 2012), onde a equipe avalia o que deu certo (*What Went Well*) e o que deu errado (*What Went Wrong*), com o uso de post-it, identificando o porquê dos erros e registrando as lições aprendidas para não errar nas próximas *sprints*.

Na primeira *sprint* foram identificados os seguintes resultados: Bom trabalho em equipe; Reuniões presenciais produtivas; Realização de 90% (Taiga) das atividades. Algumas melhorias sugeridas para a segunda *sprint* foram: Proatividade dos envolvidos em atividades individuais; Reuniões objetivas e cronometradas; Novas estratégias para reunião diária online; Entender melhor os requisitos do ambiente web do ABPRES. Na segunda *sprint* os principais resultados observados foram: Melhor conhecimento sobre tempo de execução das tarefas; Realização de todas as atividades previstas na *sprint* trouxe a sensação de agilidade no andamento do projeto; Melhor comunicação da equipe de desenvolvimento e independência com relação aos orientadores; Pensamento unificado dos requisitos do projeto ABPRES. Melhorias sugeridas para as próximas *sprints*: Decisões tomadas em reuniões online devem ser registradas em ata; Ampliar uso das ferramentas de GPS para melhorar a comunicação; Ampliar reuniões semanais.

5. Considerações Finais

Neste momento o projeto se encontra na fase de validação. A utilização de um

framework próprio do GPES-IFPB, adaptando técnicas e boas práticas da ES, contribuiu de forma positiva nas atividades dos projetos, aumentando a proatividade da equipe e fazendo com que os projetos se desenvolvessem de forma menos dependente dos orientadores, obtendo uma diferença positiva comparado com as atividades anteriores, que eram realizadas em um processo empírico e caótico.

Houveram alguns atrasos e dificuldades por conta da equipe em entender melhor do que se tratava o FGAP e o produto final que seria desenvolvido. Durante o desenvolvimento das *sprints* não ficou muito bem visualizada pela equipe e pelo próprio *Product Owner* os requisitos do produto final, o que acabou trazendo um atraso em todo processo. Esse atraso se justifica devido a falhas no processo de desenvolvimento de software do grupo que está em fase de avaliação.

Como trabalhos futuros temos a continuidade da avaliação do FGAP na execução das próximas *sprints*. Para a terceira *sprint* espera-se dar continuidade às avaliações do FGAP em conjunto com o novo Processo de Desenvolvimento de Software que o projeto RPPDS está definindo e avaliando, baseando-se na metodologia de desenvolvimento ágil, Extreme Programming (XP). Com estas avaliações esperam-se melhorias contínuas no FGAP para que possamos reusa-lo em outros projetos internos e externos ao IFPB.

6. Referências

- ALMEIDA, S. L. F.; MORAIS, A. D. S.; SILVA, S. C.; ALENCAR, F. P.; LIRA, H. B. "Ambiente de Boas Práticas Reconfiguráveis em Engenharia de Software." XI Semana de Ciência e Tecnologia do IFPB, <<http://editora.ifpb.edu.br/index.php/ifpb/catalog/view/72/40/114-1>>, 2016.
- CAMPOS, E. L. "Técnica para fazer uma reunião de retrospectiva scrum." Blog ScrumHalf. 2012. Disponível em: <<https://shar.es/1U4IEq>>. Acessado em Fev/17.
- MORAIS, A. D. S.; RANGEL, H. J. L.; LIRA, H. B.; RODRIGUES, N.N.; ALMEIDA, S.L.F.; SILVA, S.C.; MEDEIROS, F.P.A. "Repositório de Práticas em Gerenciamento de Projetos de Software." XI Semana de Ciência e Tecnologia IFPB, <<http://editora.ifpb.edu.br/index.php/ifpb/catalog/view/72/40/114-1>> 2016.
- PMI, Project Management Institute. "Um Guia do Conhecimento em Gerenciamento de Projetos" (PMBOK®)–5a. Edição, PMI-Project Management Institute, 2016.
- PRESSMAN, R. S.; MAXIM, B. R. "Engenharia de Software - Uma Abordagem Profissional" - 8 Ed. Argh Editora, 2016.
- PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. "Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico." 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013. Disponível em <goo.gl/ydRNhH>. Acessado em: Fev/2017.
- SILVA, S. C.; RANGEL, H. J. L.; LIRA, H. B.; RODRIGUES, N. N.; MEDEIROS, F. P. A. "Repositório de Práticas em Processos de Desenvolvimento de Software." XI Semana de Ciência e Tecnologia do IFPB, <<http://editora.ifpb.edu.br/index.php/ifpb/catalog/view/72/40/114-1>>, 2016.

BlueHelp

Marcelo Machado Cunha, Leila Couto de Matos Buarque, Alisson
Oliveira Neves, Bruno Silva, Jadir Arnaldo Júnior

Instituto Federal de Sergipe (IFS), Coordenadoria de Informática

mcelobr@yahoo.com.br, leila@infonet.com.br, neves_alisson@hotmail.com,
{bruno,jadir}@gmail.com

***Abstract.** This work aims at the study and implementation of a home automation software aimed at people with reduced mobility. The system, called BlueHelp, should aid in some small day-to-day activities of people, allowing the user to easily control their residence through a smartphone application connected via bluetooth to a microcontroller. All the main activities of the user will be recorded in a database on a web server, allowing users to consult at any time in a simple and practical way.*

***Resumo.** Este trabalho visa o estudo e implementação de um software de automação residencial voltado para pessoas que possuem mobilidade reduzida. O sistema, chamado de BlueHelp, deve auxiliar em algumas pequenas atividades do dia a dia das pessoas, permitindo que o usuário consiga controlar sua residência com facilidade através de um aplicativo para smartphone conectado via bluetooth a um microcontrolador. Todas as principais atividades do usuário serão registradas em um banco de dados em um servidor web, possibilitando que os responsáveis pelo usuário consultem-no a qualquer momento de forma simples e prática.*

Introdução

Atualmente, existe uma grande facilidade de adquirir um *smartphone* ou *tablet*, de forma que a maior parte da população utiliza-se desses aparelhos no dia a dia em diversas atividades como: acessar a internet, enviar mensagens instantâneas, enviar e-mails, acessar redes sociais, entre outras.

Paralelamente, os microcontroladores tornaram-se uma boa opção para realização de projetos de automação por possuírem baixo custo, grande facilidade de expansão, conexões com diversos dispositivos através do *bluetooth*, *ethernet*, entre outros

Nessa perspectiva, os *smartphones*, atrelados aos microcontroladores, representam uma boa combinação para o desenvolvimento de projetos que objetivam acompanhar as tendências de mercado e abrir portas para pesquisas que visam a melhoria do desenvolvimento humano.

Nos dias atuais é comum encontrar pessoas que possuem alguma forma de mobilidade reduzida, seja por alguma deficiência, seja pela idade, tornando-se dependentes de serviços básicos como: abrir e fechar uma porta ou janela, acender e desligar uma lâmpada. Logo, em virtude de sua deficiência a interação com sua residência torna-se comprometida.

Dessa forma, a demanda por tecnologias que auxiliem tais públicos é cada vez

maior. Segundo a Secretaria de Direitos Humanos (2014), utilizando-se de dados das Nações Unidas, uma em cada nove pessoas no mundo tem mais de 60 anos de idade e estima-se um crescimento de uma em cada cinco por volta de 2050. Conforme a pesquisa citada, em 2050 pela primeira vez haverá mais idosos que crianças menores de 15 anos.

Conforme site Agencia Brasil (2015), utilizando-se dados do IBGE levantados em 2013, 6,2% dos brasileiros declararam ter algum tipo de deficiência. O estudo mostra que 1,3% da população tem algum tipo de deficiência física e quase a metade deste total (46,8%) têm grau intenso ou muito intenso de limitações.

Concomitantemente, vê-se aumentar os casos de maus tratos por parte de cuidadores que são contratados para auxiliar certos grupos vulneráveis de pessoas e não são devidamente fiscalizados. Além disso, as opções disponíveis no mercado referentes a essa tecnologia são raras e com preços elevados, o que as torna majoritariamente um privilégio das classes dominantes da sociedade. Nesse sentido, faz-se necessário o desenvolvimento de mecanismos que possibilitem às pessoas com mobilidade reduzida uma maior interação com o ambiente em que vivem.

Portanto, é necessário desenvolver uma opção de baixo custo, de fácil instalação e de elevado custo social que possibilite auxiliar todas as pessoas com algum tipo de deficiência motora na busca por independência e mobilidade, possibilitando também, o registro das interações do dia, aumentando o contato com familiares ou responsáveis a fim de evitar ou erradicar os casos de violência e maus tratos por parte de cuidadores.

Materiais e Métodos

Para este trabalho foi utilizado um microcontrolador Arduino modelo Uno, conectado a um módulo de expansão *bluetooth*. Foi desenvolvido um aplicativo para celulares com sistema operacional Android e Windows Phone, que através do módulo *bluetooth* conecta ao microcontrolador para o desenvolvimento de suas atividades.

A aplicação conta com botões intuitivos que possibilitam que pessoas com mobilidade reduzida desempenhem diversas funções em suas residências, como: ligar e desligar uma lâmpada, um aparelho de TV, um ventilador, abrir e fechar uma porta ou janela.



Figura 1: Páginas contendo os botões para abrir e fechar janela e porta do quarto

Além disso, o sistema permite emitir sinais sonoros e luminosos, que deverão ser usados para a comunicação dos usuários com seus cuidadores ou familiares. O sistema emitirá alertas de emergência para que as pessoas próximas possam tomar as devidas providências buscando sempre preservar a saúde e a segurança dos usuários do BlueHelp.



Figura 2: Página de Alertas e controle de Luzes

As interações feitas com o aplicativo são registradas em um banco de dados para possíveis consultas futuras. Isso foi possível através da utilização de uma *shield* de expansão *ethernet*, onde o microcontrolador envia informações, referentes as interações das atividades desenvolvidas pelo usuário, para o servidor de banco de dados. São armazenadas informações sobre o dia e hora da interação, o usuário que a executou e a atividade executada.

Foi desenvolvido um *website* para que os responsáveis pelos idosos, usuários que utilizam diretamente o sistema na residência, possam realizar consultas a fim de acompanhar o dia a dia dos seus beneficiados.

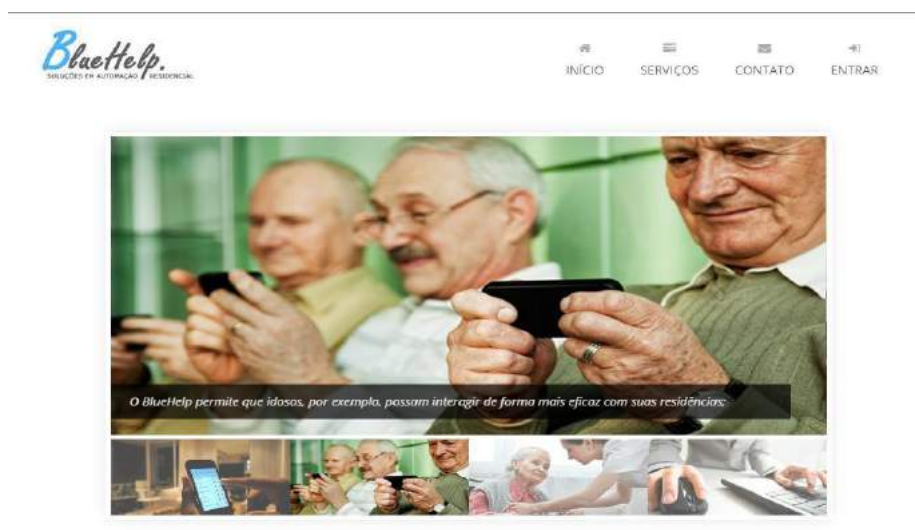


Figura 3: Página inicial do ambiente web do BlueHelp

Pensando na segurança dos usuários, foi desenvolvido um módulo de envio de

mensagens de texto (SMS) alertando quando um dos botões de emergência for acionado.

Para a realização dos testes foi desenvolvido uma maquete simulando um cômodo de uma casa, onde através do aplicativo foi possível acender e apagar a lâmpada, abrir e fechar porta e janela, ligar e desligar o ventilador, além dos alertas de emergência.



Figura 4: Maquete de simulação do BlueHelp

Resultados

O sistema foi testado através da maquete apresentada na figura 4 e apresentou resultados satisfatórios. Tendo como etapa seguinte a realização de testes em residências que possuam pessoas com mobilidade reduzida.

No momento, está sendo desenvolvido módulos que permitem a interação com mais recursos da residência, incluindo câmeras, possibilitando o acompanhamento do que acontece na residência em qualquer ponto que possua internet.

Conclusão

O BlueHelp é um sistema que facilita a vida das pessoas com mobilidade reduzida dando-lhes mais liberdade e autoestima por possibilitar o controle da sua residência através de uma *interface* intuitiva e de baixo custo quando comparado com as opções do mercado. Dessa forma, busca-se difundir, fomentar e tornar acessível práticas que melhorem o cotidiano das pessoas, fazendo do BlueHelp não apenas mais uma solução em automação residencial, mas uma alternativa de baixo custo que carrega em seu bojo o propósito de melhorar a qualidade de vida das pessoas.

Referências

Agência Brasil. Disponível em: <http://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2015-08/ibge-62-da-populacao-tem-algum-tipo-de-deficiencia>. Acesso em 15 de março de 2017.

Secretaria de Direitos Humano. Disponível em: <http://www.sdh.gov.br/assuntos/pessoa-idosa/dados-estatisticos/DadosobreoenvelhecimentonoBrasil.pdf>. Acesso em 15 de março de 2017.

Frequência x Evasão: Proposta de protótipo para detecção de alunos em sala de aula.

Prof. Msc. Ubirajara C. L. Junior¹, Prof^a. Msc. Mônica Farias. M. Vicente¹

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia (IFBA)
Juazeiro – BA – Brasil

{ubirajara.lima,monica_farias}@ifba.edu.br

***Abstract.** School dropout is a challenge for the management of public schools, therefore it is necessary a procedure that allows the control and management of this process. The aim of this work is to put into practice a proposal for the automation of student attendance record through Arduino microcontroller and radio frequency tags (RFID), at Federal Institute of Education, Science and Technology of Bahia (IFBA), campus Juazeiro, with the intention of implementing a plan of action against school dropout.*

***Resumo.** A evasão é um desafio para a gestão de escolas públicas, por isso torna-se necessário um procedimento que permita o controle e o gerenciamento desse processo. Este trabalho tem por objetivo colocar em prática uma proposta de automação de registro de frequência de alunos através de microcontrolador Arduino e etiquetas de rádio frequência (RFID), no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia (IFBA), Campus Juazeiro, com o intuito de realizar um plano de ação contra a evasão escolar.*

1. Introdução

A automação atualmente desempenha um papel importante em nossas vidas, desde o uso do controle remoto auxiliando pessoas com alguma deficiência, na execução de alguma tarefa que seja considerável simples, ou mesmo na segurança.

Conforme Dias e Pizzolato [2004], a Domótica é a integração dos serviços e tecnologias aplicados a residências, apartamentos e casas, com o propósito de automatiza-las, gerenciando energia, água, iluminação, comunicação, climatização, dentre outros, através de um computador ou mesmo de um *smartphone*. Levando em consideração dados do International Data Corporation (IDC) e Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica (Abinne) [Teleco, 2015], que no segundo trimestre de 2015 foram vendidos 11,3 milhões de *smartphones* no Brasil, tem-se um campo aberto para inserção de um novo olhar para a automação.

O processo de automação residencial pode ser aplicado em sala de aula para realizar o controle de iluminação, de temperatura e até da frequência dos discentes. Segundo Chaudhari, et al, (2015), a automação neste espaço pode ser uma interface remota para diversos dispositivos dispostos nela, para isso, todos os dispositivos envolvidos neste processo estariam interligados através da rede de computadores, seja ela cabeada ou sem fio. Nesta composição o uso de um microcontrolador de entrada e

saída, Arduino, tecnologia de baixo custo que pode ser usada na concepção de projetos de automação, será utilizado como base do projeto, que por sua vez representa uma plataforma aberta. Ele interage com o meio externo através de sensores (temperatura, umidade, gases) que captam as informações do ambiente e lhes são repassadas, fazendo este, o tratamento das mesmas.

O objetivo desta proposta é realizar a automação de frequência/monitoramento dos alunos em sala de aula com componentes de baixo custo para que se tenha uma ação, realizada pela gestão da escola, no sentido de atacar um ponto da evasão escolar.

2. Estado da arte no âmbito da frequência discente

De acordo com Ghodekar et.al. (2013), o registro da ausência dos alunos em sala de aula na universidade é de grande importância, visto que o estudante, ao obter uma nota no conselho final, leva-se em consideração seu histórico de ausências. O autor ainda afirma que o processo de checar quais alunos estão presentes, ou seja, chamar nome e sobrenome de cada, perde-se, pelo menos, 10 minutos para concluir tal procedimento.

O método de lista de frequência demanda tempo e é falho, pois deve ser levado em consideração que algum aluno pode não assinar e, em caso extremo, outro pode escrever o nome do que está ausente. Desta forma, o autor propõe um sistema automatizado de frequência, utilizando etiquetas RFID (Radio Frequência de Identificação) através de um cartão inteligente.

A ideia é que cada aluno porte um cartão com a sua identificação e, conseqüentemente, o apresente em sala de aula, uma vez que em cada sala existirá uma etiqueta de leitura. Desta forma, o sistema irá contabilizar quantos estudantes estão presentes e quantos ausentes, e toda esta informação será armazenada em um banco de dados MYSQL. A implementação deste sistema pelo autor utiliza a linguagem de desenvolvimento JAVA para codificar o software, e a utilização do SGBD (Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados) para armazenar as informações oriundas dos cartões dos alunos.

Da mesma forma Chang (2011) afirma que no decorrer da aula os estudantes vão deixando a sala, sendo impossível ter 100% deles até o final, e propõe um sistema de registro de frequência com uma abordagem diferente. O autor sugere um painel em que os alunos insiram os seus cartões RFID no início e o final da aula, sendo recolhidos após esta. É interessante observar que Chang identifica que no método de chamada por frequência o professor gastava entre 5 e 10 minutos para finalizar o procedimento, situação semelhante a apontada por Ghodekar et.al..

Um estudo de caso desenvolvido na Universidade de Chang Jung Christian em Taiwan, com 2400 estudantes e 100 salas de aula. O processo de desenvolvimento foi dividido em três etapas: avaliação do cenário, planejamento de sistema e testes, e verificação. Em cada sala foi instalado um painel com slots para a alocação dos cartões disponibilizados para os alunos, e este painel conectado à rede local da instituição. Assim que eles adentravam em sala, colocavam o cartão no painel e só o retiravam no final da aula. Desta forma, o professor conseguia a permanência dos alunos.

Chang afirma que esta solução ajudaria a diminuir a taxa de ausência de 30% para 5%, auxiliando os alunos da graduação a serem bem-sucedidos ao final do semestre em relação às suas frequências.

A automação em sala de aula é situação já proposta por alguns autores, porém Islam, et.al (2013) indica automatizar a presença dos estudantes através de cartões de identificação utilizando código de barras, e da mesma forma realizar o controle de luzes, ventiladores e outros aparatos. O autor ainda afirma que existem duas maneiras de realizar o registro da frequência dos estudantes em salas, sendo a primeira, o professor chamando o aluno pelo nome e depois registrando na caderneta. A segunda seria através de uma lista para que os estudantes assinem o seu nome. Em ambas as formas o professor perde em tempo para realizar esse procedimento, afirma.

O autor supracitado utiliza-se de um leitor de código de barras e o *Microsoft Excel* 2003, ou superior, codificando o sistema na linguagem Visual Basic (VBA). Neste sistema existe funcionalidade tais como: “*login*”, função na qual há a leitura de código de barras do estudante e armazenamento da identificação, juntamente com a data e a hora; a função “*ausente*”, que permite o professor marcar todos os ausentes com apenas um click; a função para calcular o número total de ausência, e o total de número de presença. O autor ainda afirma que se utilizou do *Microsoft Excel* por ser de fácil utilização e que a maioria dos usuários envolvidos diretamente tem usabilidade no software supracitado.

3. SISTEMA AUTÔNOMO PARA MONITORAMENTO DE FREQUÊNCIA DE ESTUDANTES DO IFBA CAMPUS JUAZEIRO

O Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia (IFBA), *Campus Juazeiro*, tem apenas dois anos de inaugurado, mas funcionou, há quatro anos, como Núcleo Avançado gerenciado pelo *Campus* de Paulo Afonso.

Neste interstício, foi constatado que sempre no início de cada semestre/ano letivo, alguns estudantes começam o curso para qual prestou seleção, e após certo tempo o mesmo deixa de frequentar as aulas sem nenhuma comunicação a instituição. No modo atual, o professor não tem o conhecimento porque o aluno parou de frequentar, pois, nenhuma comunicação é realizada entre o setor responsável e o docente.

Em entrevista realizada com servidores do setor de registro de notas (CORES), que é também responsável pelo acompanhamento da frequência dos alunos, ficou constatado que este departamento apenas tem a noção que os discentes não estão frequentando quando elaboram o boletim ao final de cada unidade letiva. Esta é uma forma tardia de tentar “resgatar” um aluno que abandonou ou desistiu do curso. Tal percepção demorada pode gerar quantidade elevadas de ausências não justificadas, acarretando consequentemente a reprovação por falta, visto que as normas pedagógicas permitem apenas 25% de falta com relação à carga horária da disciplina.

De acordo com o Projeto Pedagógico Institucional do IFBA (PPI IFBA, 2013) há um compromisso de atuação pautada na democratização do acesso e permanência. Com relação à permanência deste aluno, o documento descreve algumas ações, dentre elas: “Desenvolver estudos nos *Campi* para identificar as causas da evasão escolar com o objetivo de desenvolver políticas locais”. Diante deste tópico, percebe-se que a proposta deste projeto está respaldada na própria legislação interna do IFBA.

A proposta de protótipo para apuração de frequência de alunos em sala de aula consiste na utilização de equipamentos de baixo custo. Para registrar a presença utilizar-se-á um microcontrolador Arduino, acoplado com um *Shields* leitor de etiquetas de rádio frequência (RFID) e etiquetas RFID, esta última, distribuídas para os alunos da

turma da disciplina Tecnologia da Informação, armazenado o código de identificação de cada um. Para o armazenamento dos dados gerados, será utilizado o banco de dados MySQL e um sistema implementado na linguagem PHP, o qual permitirá gerenciar, via Web, e contabilizar a presença, juntamente com outros dados, a exemplo dia e hora.

O sistema irá disparar um alerta para o setor responsável através de um e-mail, o qual ficará condicionado a 3 faltas consecutivas e/ou quando chegar próximo do limite de faltas permitido pela disciplina. O e-mail informará o nome do aluno, turma, dias faltosos e quantidade de faltas contida na disciplina até a presente data. A quantidade de faltas para o envio da mensagem foi escolhida pelo fato de que muitas disciplinas têm 2 aulas na mesma semana, neste caso, gerando 2 faltas. Assim, se o aluno se ausentar na semana subsequente, o e-mail automaticamente será disparado.

A partir da rotina da gestão escolar, a mesma poderá entrar com um plano de ação para contactar o aluno faltoso e possa apurar o motivo dos dias faltosos.

4. Considerações Finais

O protótipo de automação de sala de aula a ser implementado, fortalece o uso de plataforma de prototipagem eletrônica de baixo custo, uma possível resolução de um problema identificado, além de atender ao requisito indicado pelo projeto pedagógico do IFBA. Apesar de o sistema ser inicialmente implementado apenas para uma turma, pretende-se trabalhar para realizar a implantação em todas as turmas do Instituto. Etapas futuras são vislumbradas para a inserção de um aplicativo para dispositivos móveis, no qual os alunos possam, também, acompanhar a sua assiduidade em sala de aula.

Referências

DIAS, C. L. A.; PIZZOLATO, N. D.; **DOMÓTICA - Aplicabilidade e Sistemas de Automação Residencial**. Revista Vértices – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense. Vol 6. p. 10-32. 2004.

TELECO, <http://www.teleco.com.br/smartphone.asp>. Acessado em: 19 de Novembro de 2015.

CHAUDHARI, S. B.; KHULPE, S.; PATKI, P.; KALE, K.; MALAGE, D.; **Classroom Automation using Voice Commands**. International Journal for Science and Advance Research in Technologi – IJSART. Vol. 1. p.76-78. 2015.

PPI IFBA - Projeto Pedagógico Institucional. Disponível em: www.ifba.edu.br Acessado em: 14 de Março de 2017.

GHODEKAR, Vaishali; KUTE, Aboli; PATIL, Swati; THAKUR, Ritesh; **Automated Attendance system with RFID through smart card**. International Journal of Engineering Research e technology – IJERT. Vol. 2. p. 2724-2728. 2013.

CHANG, C. H.; **Smart Classroom Roll Caller System with IOT Architecture**. Second International Conference on Innovation in Bio-inspired Computing and Application. IEEE Computer Society. p. 356-260. 2011.

ISLAM, N; TABASSUM, F; SARKER, G. K.; SEN, D; **Intelligent Classroom Management System**. Monografia do curso de Ciência em Elétrica e Engenharia Eletrônica. Universidade Brac - Bangladesh. 2013

Sabarabuçu: Um jogo digital educacional, cultural e ambiental para o município histórico de Sabará

Pedro A. Lourenço, Lucas P. Leal, Estela M. P. Diaz, Carlos A. Silva

¹Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG)
CEP 34515-640 – Sabará – MG – Brasil

pedroartur0306@live.com, quelleal@yahoo.com.br,

{estela.maria, carlos.silva}@ifmg.edu.br

Abstract. *In this paper we present the development of a digital game about an important historical city of Minas Gerais. The game addresses education, cultural dissemination, preservation of historical monuments, environmental education and social inclusion. Open-source software was used and the arts and sounds has done by authors themselves.*

Resumo. *Neste artigo apresentamos o desenvolvimento de um jogo digital cujo enredo é contextualizado em um município histórico de Minas Gerais e aborda temáticas ligadas a educação, disseminação cultural, preservação de monumentos históricos, educação ambiental, inclusão social, além de ser caracterizado pela utilização de softwares open-source e criação de arte e sons dos próprios autores.*

1. Introdução

O mercado de jogos vem se expandindo ao longo dos últimos anos. De acordo com a [Newzoo 2015], empresa de consultoria e pesquisa de mercado especializada em *games*, o mercado global movimentou mais de R\$ 270 bilhões no ano de 2015 e tem previsão para ultrapassar R\$ 320 bilhões em 2017. No contexto nacional, o mercado de *games* movimenta mais de R\$ 40 milhões, fazendo com que os jogos eletrônicos deixassem de ser apenas passatempo para se tornarem alternativas lucrativas de negócios. Apesar destes números, a realidade é que o Brasil consome um grande volume de jogos, porém produz pouco.

Neste trabalho buscamos por meio de um jogo ilustrar como enredo parte dos potenciais turísticos e culturais do município histórico de Sabará em Minas Gerais. Além disso, o jogo tem como propósito ser um agente educacional propiciando a difusão de elementos educacionais como a consciência ambiental; estimular a reflexão sobre a diversidade de etnias e contextualizar e conscientizar sobre o transtorno do espectro autista. Inicialmente a expectativa da aplicação do jogo é em um ambiente educacional, visto os benefícios proporcionados pelo uso da tecnologia no ensino de disciplinas.

Apesar do jogo desenvolvido ter por objetivo a criação de uma metodologia educacional por meio da *gameificação* abordando temáticas sociais e culturais, o cenário atual de *games* é promissor, ampliando a possibilidade do resultado desta pesquisa para fins comerciais.

2. Metodologia e Ferramentas Computacionais

Para o acompanhamento do desenvolvimento do jogo foi utilizado o *Game Design Document* (GDD), responsável pela documentação de todas as informações necessárias para projeção das fases, o enredo do jogo, a caracterização dos personagens, as movimentações, o balanceamento entre outros. A plataforma de desenvolvimento utilizada foi o *Game Maker Studio* que se trata de uma *engine* gratuita possibilitando o desenvolvimento do jogo em dimensão até 2,5D utilizando técnicas de *Parallax*. Inicialmente foram feitos os esboços do jogo, os quais foram transferidos para o computador via mesa digitalizadora, a fim de preservar a originalidade dos traços, sendo que a pintura da arte do jogo foi utilizado o *InskScape*. Por meio da arte dos autores deste trabalho foram esboçados e digitalizados vários monumentos históricos da cidade, além de caracterizar por meio de *sprites*, a fruta jabuticaba, que representa um patrimônio gastronômico do município. Posteriormente foi produzida a trilha sonora, a qual foi montada e composta pelos autores. Utilizou-se uma flauta doce com timbre soprano e os demais arranjos foram digitalizados. A preocupação com o enfoque educacional é primordial ao desenvolvimento do jogo. Utilizamos os conceitos de Diferenciação Progressiva e Reconciliação Integrativa conforme apresentados em [Ausubel 2010] e [Mendes 2011]. Estes dois processos auxiliam na aprendizagem satisfatória do aluno/aprendiz no jogo. Na Diferenciação Progressiva, os novos conhecimentos devem ser apresentados de forma gradual em uma ordem crescente de especificidade. Durante o jogo é necessário responder *quizzes* e coletar pedaços de mapas que remetem a *totens* contextualizando o patrimônio histórico da cidade, adquirindo conhecimento cultural a medida em que se avança no jogo. Na Reconciliação Integrativa, a preocupação está em elucidar eventuais semelhanças, diferenças e contradições de modo que o estudante possa fazer novas conexões de conhecimento. No *game* esta característica é visível a partir do conhecimento previamente adquirido na leitura dos *totens* e coleta de itens, os quais são utilizados para coleta de novas partes dos mapas. Além disso, durante as etapas subsequentes do jogo, novas habilidades são adquiridas, como por exemplo o trabalho em equipe e resolução de conflitos.

3. O Jogo Sabarabuçu

Inspirado no jogo “O Mundo de Jequi”, **Sabarabuçu** retrata uma ambientação local, porém caracterizando sua principal vocação que é o turismo, seja pela representatividade das inúmeras igrejas históricas, ou pela riqueza ambiental ou pela tradicional gastronomia. O nome Sabarabuçu é uma abreviação da palavra tupi *tesáberabusu* que significa “grandes olhos brilhantes”, se referindo às pepitas de ouro que foram encontradas na região e este foi o nome da cidade no princípio de sua história. Estão presentes no jogo as jabuticabas, consideradas na cidade como “Ouro Negro”, além das famosas igrejas barrocas como a Igreja Nossa Senhora do Ó e Igreja Nossa Senhora do Carmo. O jogo desenvolvido tem por objetivo disseminar a cultura local e estimular a educação social e ambiental. Inicialmente o público-alvo do jogo seriam estudantes de escolas públicas da cidade, podendo conciliar as atividades do jogo com conteúdo de disciplinas da escola, como história. O jogo estará disponível em um plataforma *web*, na qual existirá um formulário de satisfação e *quizzes* sobre o jogo. A partir destas informações, serão feitas análises estatísticas para verificar o desempenho e o aprendizado dos participantes.

3.1. Abordagem Educacional, Cultural e Ambiental

A cidade de Sabará foi o primeiro povoado de Minas Gerais e uma das primeiras áreas onde se encontrou ouro no Brasil, além de apresentar em sua arquitetura o primeiro barroco brasileiro. O município pertence à famosa rota da Estrada Real (ER), sendo esta a maior rota turística do país passando pelos estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais. Alguns dos importantes locais históricos e turísticos da cidade, como a Igreja do Ó, considerada um dos cartões postais da cidade, foi retratada no jogo. Além do importante contexto histórico da cidade no cenário regional e nacional presentes no jogo, o desenvolvimento deste trabalho prevê o estímulo de ações de consciência ambiental e cidadania. A aplicação do jogo como material didático educacional está em fase de conversação com escolas da rede pública da cidade.



Figura 1. Primeiros *Sketches* dos pontos turísticos de Sabará, Chafariz do Kaquende, Igreja Nossa Senhora do Ó, Igreja Nossa Senhora do Carmo da esquerda para a direita.



Figura 2. *Sketches* dos pontos turísticos de Sabará, Chafariz do Kaquende, Igreja Nossa Senhora do Ó, Igreja Nossa Senhora do Carmo da esquerda para a direita com pintura digital aplicada.

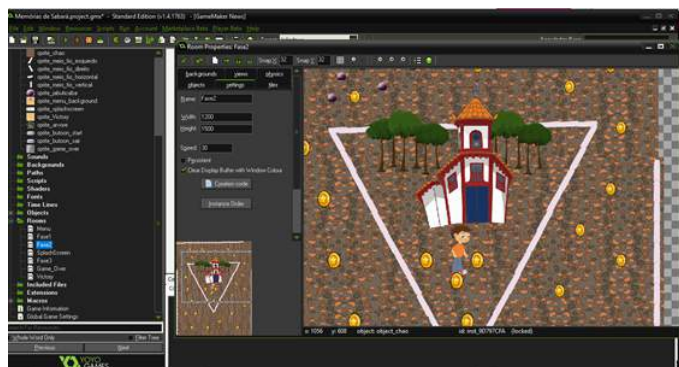


Figura 3. Personagem principal na fase do Largo do Ó.

3.2. Caracterização dos Personagens

Os personagens foram criados com características específicas e contemplam os temas de diversidade étnico-racial e transtorno do espectro autista (TEA). Levou-se em consideração as etnias indígenas e africanas pela sua relevância histórica no contexto nacional e em específico da cidade de Sabará. Além disso, o ambiente do jogo se passa no imaginário do personagem principal que possui a característica do autismo, tema este de suma importância quando se trata da inclusão social, especialmente no meio educacional.



Figura 4. Primeiros *sketches* dos personagens, da esquerda para a direita Yaya (Yasmim), Kadu (Carlos Eduardo), Dan (Daniel).



Figura 5. Segundo *sketch* e final dos personagens já com a pintura digital, seguindo da esquerda para a direita Yasmin (etnia indígena), Carlos Eduardo (Autista) e Daniel (etnia africana).

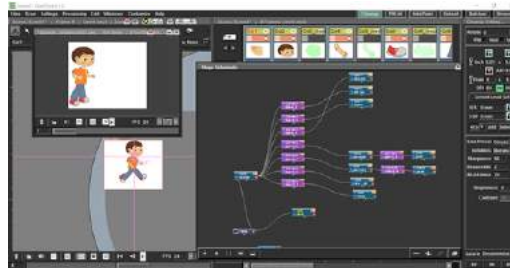


Figura 6. Animação do personagem no *Open Toonz*.

4. Conclusão

Por meio do jogo Sabarabuçu, foram inseridas as temáticas de cultura afro-brasileira, indígena, transtorno do espectro autista e educação ambiental. Espera-se com este jogo promover um turismo virtual da cidade histórica mineira de Sabará. Além disso, o jogo poderá ser utilizado como ferramenta de auxílio no processo de ensino e aprendizagem nas escolas de ensino básico.

Referências

- Ausubel, D. (2010). The acquisition and retention of knowledge: A cognitive view. *Dordrecht*.
- Mendes, T. G. (2011). Jogos digitais como objetos de aprendizagem: Apontamentos para uma metodologia de desenvolvimento. In *SBGames*.
- Newzoo (2015). Global games market will grow 9.4% to US\$91.5bn in 2015.

Uma Ferramenta Baseada em Agentes Inteligentes Aplicada ao Estudo do Sistema Imunológico Humano

Marcelo José S. C. de Almeida, Paula F. C. P. de Freitas, Juan Victor L. B. e Barros, Gustavo B. Ribeiro, Myllena A. H. da Silva, Rerisson D. C. S. Matos

Instituto Federal da Paraíba (IFPB), Av. Tranquilo Coelho Lemos, 671 , Dinamérica –
CEP 58.432-300 – Campina Grande – PB – Brazil
marcelo@ifpb.edu.br, paulamedicina@bol.com.br,
{juanlyrabarros,gustavofranklin10,malexandrehs,
rerissondaniel}@gmail.com

***Abstract:** This work presents the development of SIMUNOS software, which objective is to simulate human immunological system behavior using intelligent agents. In order to evaluate our proposal we made experiments using the variation in antigen and neutrophil population as metrics. The results demonstrate the viability to use agent based modeling and simulation to study complex systems.*

***Resumo:** Este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma ferramenta de software denominada SIMUNOS, cujo objetivo é simular o comportamento do sistema imunológico humano utilizando agentes inteligentes. A fim de avaliar nossa proposta foram feitos experimentos usando como métricas a variação na população de antígenos e neutrófilos. Os resultados demonstram a viabilidade do uso de Modelagem e Simulação Baseada em Agentes para estudar sistemas complexos.*

1. Introdução

Ferramentas de simulação computacional desempenham um papel importante no estudo de diversos tipos de sistemas complexos, os quais envolvem entidades autônomas interagindo e variados tipos de comportamentos dinâmicos [Wooldridge, 2011; Macal and North, 2006]. Mais recentemente, a abordagem denominada Modelagem e Simulação Baseada em Agentes (MSBA) vem recebendo crescente atenção por parte da comunidade de especialistas de diversas áreas do conhecimento devido a seu potencial como laboratório eletrônico. Suas aplicações são bastante abrangentes, indo desde o estudo dos mercados de ações, cadeias de fornecimento e mercados de consumo até a previsão de como epidemias se espalham.

A imunologia é um ramo da biologia, de caráter interdisciplinar que tem como objetivo o estudo do sistema imunológico, abrangendo desde os processos atômicos e moleculares até interações celulares e as composições teciduais dos agentes responsáveis pela integridade dos seres vivos [Abas and Shiv, 2012]. Dentre as estruturas pertinentes à imunologia, a compreensão do comportamento de antígenos (agentes naturais que promovem a defesa do organismo) e neutrófilos (agentes naturais que atacam o organismo – p. ex., bactérias e vírus) é de fundamental importância. No

entanto, a realização de estudos diretamente em sistemas vivos (principalmente humanos) apresenta diversas limitações.

REPAST (*Recursive Porous Agent Simulation*) é um framework aberto e gratuito destinado à modelagem e implementação de agentes inteligentes, sobretudo Sistemas Adaptativos Complexos - SAC [North et al., 2006]. Consiste em um conjunto de classes de software que controlam a simulação do sistema, permitindo que pesquisadores possam focar nos seus objetivos sem se preocupar com outras questões secundárias tais como controle do relógio, gerência da fila de eventos, comunicação etc. [Chwif e Medina, 2014]. REPAST adota um modelo orientado a objetos de tal forma que a relação entre os elementos do domínio de estudo e as estruturas de implementação seja bastante natural.

Este trabalho apresenta resultados obtidos a partir de simulações de um modelo do sistema imunológico utilizando agentes inteligentes, considerando como parâmetros de estudo a variação na população de antígenos e neutrófilos. SIMUNOS fornece duas formas de visualização do sistema. Uma por meio de uma animação que descreve como os agentes interagem e a outra é por meio de gráficos estatísticos que descrevem como determinadas propriedades variam ao longo da simulação. Finalmente, SIMUNOS pretende se inserir no conjunto de softwares capazes de atuar como laboratórios artificiais, reduzindo o uso de organismos vivos e realização de experimentos *in vitro*.

2. Metodologia

Neste trabalho foi empregado o processo de desenvolvimento RATIONAL acompanhado da linguagem de modelagem UML (*Unified Modeling Language*) [Larman, 2007] e da ferramenta de modelagem STAR UML. A motivação por trás da escolha desses recursos se deu pela necessidade de termos uma modelagem ágil e clara e por termos adotado a orientação a objetos na fase de implementação.

A modelagem do sistema teve como objetivo obter uma representação da estrutura e comportamento do sistema imunológico. Essa etapa se deu por meio de estudos da literatura e da orientação de um profissional da área de saúde. A partir daí foram criados diversos artefatos de modelagem tais como casos de uso, modelo conceitual e diagramas de seqüência [Bezerra, 2014].

O desenvolvimento do SIMUNOS se deu através de iterações de curtos períodos com o intuito de modelar, programar, avaliar requisitos e receber retroalimentação o mais rápido possível. A implementação do código foi realizada por meio do framework simulação baseado em agentes denominado de REPAST e da linguagem de programação Java.

3. Experimentos e Resultados

O modelo descrevendo o sistema imunológico foi implementado na linguagem Java usando bibliotecas do REPAST e simulado com diversos valores para os parâmetros de entrada. Em cada cenário procurou se verificar como o sistema se comportava em relação à proporção existente entre antígenos e neutrófilos. Dentre o conjunto de cenários estudados, dois serão discutidos. Em ambos os casos, os gráficos foram gerados por meio do próprio REPAST sem necessidade de ferramentas auxiliares.

No **cenário 1** foi simulada uma situação de infecção avançada, onde a quantidade de antígenos foi 300% maior do que a de neutrófilos. Para isso foram usados como parâmetros de entrada os seguintes valores: 150 antígenos e 50 neutrófilos (figura 1). Percebe-se que a partir dos 90 *ticks* (unidade de tempo de simulação) a quantidade de antígenos aumenta e a de neutrófilos diminui, aumentando a infecção de tal forma que os neutrófilos não conseguem erradicá-la. A simulação teve duração de 1.320 *ticks* e a população final de 180 antígenos e 0 neutrófilo.

No **cenário 2** foi simulada uma situação em que havia um equilíbrio entre os antígenos e os neutrófilos, i.e., os parâmetros de entrada foram definidos como iguais a 50 (figura 2). Verificou-se que a partir de 100 *ticks* uma redução dos neutrófilos e dos antígenos o que mostra a concorrência existente nessa situação, durou 8.500 *ticks* com ganho por parte dos agentes defensores e erradicação total da infecção e população final de aproximadamente 18 neutrófilos e 0 antígeno.



Figura 1: Simulação do cenário 1 (população inicial de 150 neutrófilos e 50 antígenos).

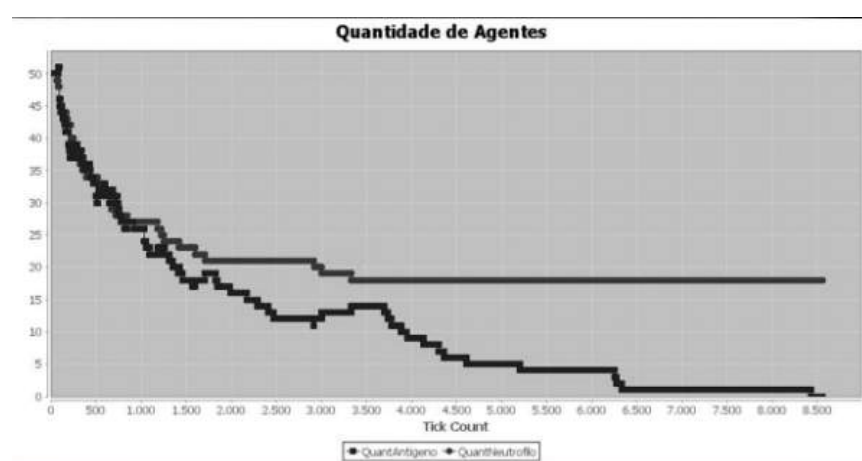


Figura 2: Simulação do cenário 2: população inicial de 50 neutrófilos e 50 antígenos.

7 Conclusões e Trabalhos Futuros

Neste trabalho foi apresentado o desenvolvimento do SIMUNOS, uma ferramenta de simulação do sistema imunológico humano baseada em agentes inteligentes. Sua implementação se deu através da extensão de classes de software disponíveis no REPAST, um *framework* aberto e gratuito voltado para Modelagem e Simulação Baseada em Agentes (MBSA).

A ferramenta permite realizar experimentos através da variação de parâmetros que caracterizam o sistema e com isso fornece meios de compor diversos cenários diferentes. SIMUNOS fornece duas formas de visualização do sistema. Uma é por meio de uma animação que descreve como os agentes interagem e a outra é pro meio de gráficos estatísticos que descrevem como determinadas propriedades variam ao longo da simulação.

Com os experimentos realizados foi possível perceber a viabilidade da ferramenta para o estudo do sistema imunológico humano. Os cenários abordados consideraram situações típicas no estudo desse sistema. Dessa forma, SIMUNOS pretende se inserir no conjunto de softwares capazes de atuar como laboratórios artificiais, reduzindo o uso de organismos vivos e realização de experimentos *in vitro*.

Como trabalho futuro, pretendemos estender as características dos agentes a fim de que SIMUNOS possa vir a ser utilizado para o estudo de doenças complexas, podendo ser usada para investigar o comportamento do sistema imunológico diante do uso de medicamentos e vacinas. Também pretendemos aperfeiçoar o trabalho de modo a validá-lo utilizando dados da literatura e informações de pesquisadores da área, estimando-se os parâmetros e determinando-se as condições iniciais para executar o programa.

Referências

- Abbas, A.; Lichtman, A. and Shiv, P. (2012) “Imunologia celular e molecular”. 7ª. Edição. Rio de Janeiro: Elsevier Brasil.
- Chwif, L; Medina, A. (2014) “Modelagem e Simulação de Eventos Discretos. Teoria e Aplicações”. 4ª. Edição. Rio de Janeiro: Elsevier Brasil.
- Bezerra, E. (2014) “Princípios de Análise e Projetos de Sistemas com UML”. 3ª. Edição. Porto Alegre: Elsevier.
- Macal, C.; North, M. (2009) “Agent-Based Modeling and Simulation”, Proc. of Winter Simulation Conference, 2009 Dec. [último acesso em 2014 Mar 05]; I: Disponível em: <<http://www.informssim.org/wsc09papers/009.pdf>>
- North, H., Collier, N., Vos, J. (2006) “Experiences Creating Three Implementations of the Repast Agent Modeling Toolkit. ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation”, Vol. 16, N°. 1, January, Pages 1 – 6.
- Wooldridge, M. (2011) “An Introduction to Multiagent Systems”. 2nd ed. England: John Wiley & Sons.

Uma avaliação da eficiência energética de uma Rede de Sensores Sem Fios em relação ao posicionamento do nó *sink*

Melissa Bonfim Alcantud¹, César Alberto da Silva^{1,2}, Andrea Padovan Jubileu¹,
Linnyer Beatryz Ruiz^{2,3}

¹Departamento de Informática – Instituto Federal de São Paulo (IFSP)
CEP 19470-000 – Presidente Epitácio, SP – Brasil

²Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica
Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) – Belo Horizonte, MG – Brasil

³Programa de Pós-Graduação em Ciências da Computação
Universidade Estadual de Maringá (UEM) – Maringá, PR – Brasil

{melissa.alcantud,casilva91,andreapjubileu,linnyer}@gmail.com

Abstract. *The research on the use of wireless technologies in several areas propelled this study regarding the energy efficiency of Wireless Sensor Networks (WSN), considering the variation of the number of sensor nodes, the time of data collection of these nodes and the positioning of the sink node. For this study, the Castalia simulator was used as an instrument to analyze the behavior of an WSN in a real environment, reducing cost and time.*

Resumo. *A pesquisa em relação ao uso de tecnologias de conexão sem fio em diversas áreas propulsou esse estudo referente à eficiência energética de Redes de Sensores sem Fio (RSSF), considerando a variação de quantidade de nós sensores, o tempo de coleta de dados desses nós e o posicionamento do nó sink. Para a realização desse estudo foi utilizado o simulador Castalia como instrumento de análise do comportamento de uma RSSF em um ambiente real, reduzindo custo e tempo.*

1. Introdução

As Redes de Sensores Sem Fio (RSSFs) possuem uma ampla possibilidade de serem utilizadas em diferentes áreas, tais como agricultura, militar, ambiental, médica, entre outras. Podem ser implantadas para monitorar aspectos do mundo físico por meio dos nós sensores, que são pequenos computadores acoplados com sensores de temperatura, vibração e outros [Tanenbaum e Wetherrall 2011].

A quantidade de energia consumida pelos nós sensores são quesitos relevantes na implantação de uma aplicação, visto que a vida útil das RSSFs pode estar relacionada à capacidade de hardware, armazenamento e recarga de energia [Ruiz et. al 2011] e [Stattner et. al 2012]. Para encontrar um modelo ideal de configuração, de acordo com aplicação desejada, faz-se o uso de ferramentas que realizam simulações de ambientes reais utilizando os dados coletados de uma RSSF. Uma vez realizada a simulação com os parâmetros adotados, esses simuladores geram um pacote de arquivos contendo dados que retratam todos os eventos que ocorreram ao longo da simulação na rede. Os

dados coletados estão aptos a serem analisados estatisticamente, a fim de serem comparados para a escolha/definição da melhor configuração da rede. Entre as várias ferramentas de simulações, as mais conhecidas para redes de sensores sem fio são: Network Simulator 2 (NS-2), TraceGraph, MannaSim e Castalia. Neste trabalho foi utilizado o Castalia, um simulador sem fio derivado do simulador OMNeT++.

Este trabalho compreende a simulação de uma RSSF variando a quantidade de nós sensores, o posicionamento do nó *sink* e o tempo de coleta de dados. Trata-se do resultado de um projeto de iniciação científica realizado por uma aluna do curso superior de Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas do IFSP – Câmpus Presidente Epitácio.

Neste artigo são apresentados os trabalhos relacionados ao estudo realizado (seção 2), as simulações e resultados obtidos (seção 3) e, por fim, as conclusões (seção 4) e referências de embasamento teórico.

2. Trabalhos Relacionados

Existem diversos trabalhos na literatura que propõem vários protocolos para reduzir o consumo de energia em RSSF. Kumar [2014] apresenta um estudo com uso de protocolos baseados em cluster. O autor propõe dois protocolos para uso em RSSF heterôgena: *Single-hop Energy-Efficient Clustering Protocol* (S-EECP) e *Multi-hop Energy-Efficient Clustering Protocol* (M-EECP). A eleição dos *cluster heads*, em ambos os protocolos, é realizada por uma probabilidade baseada na relação entre a energia residual de cada nó e a energia média da rede. Dessa forma, os nós com maior quantidade de energia têm mais chances de serem eleitos. A diferença entre esses protocolos é simplesmente que o protocolo S-EECP é utilizado para comunicação *single-hop* e o protocolo M-EECP é usado para comunicação *multi-hop*. Dois experimentos foram realizados utilizando o simulador NS-2. No primeiro experimento foram definidos 100 nós sensores distribuídos uniformemente em uma área de 100 x 100 m². No segundo experimento foram definidos 200 nós sensores distribuídos uniformemente em uma área de 200 x 200 m². Os resultados dos experimentos foram comparados com os protocolos EECT [Xin et. al 2008] e EEHC [Kumar et. al 2009]. Os protocolos S-EECP e M-EECP foram superiores em relação ao tempo de vida da rede e mantiveram o consumo de energia balanceado entre os *cluster heads*.

Diversas outras abordagens são utilizadas na implementação de um protocolo de roteamento. Mondal *et. al* (2016) utilizam *fuzzy logic* para eleição do *cluster head*, Gupta *et. al* (2016) utilizam a técnica *Honey Bee Optimization* para selecionar o próximo nó na transmissão dos dados e Bhatti e Kaur (2017) propõem um algoritmo de roteamento com *sink* móvel baseado em grid virtual.

O estudo em questão, apresentado neste artigo, diferencia-se dos encontrados na literatura por fazer uma análise do consumo de energia da rede em relação a quantidade de nós sensores, posicionamento do nó *sink* e do tempo de coleta dos nós sensores.

3. Simulação e Resultados

Para realizar as simulações do presente estudo foi utilizado o simulador Castalia. No caso, os nós sensores tem como finalidade medir a temperatura e umidade de uma área

com 4 hectares (40.000 metros quadrados), o que corresponde a uma área de 200 metros de comprimento por 200 metros de largura. Na referida área, os nós sensores da rede são distribuídos em forma de *grid*, ou seja, de maneira regular sobre a área monitorada, e com mesma capacidade de hardware.

Foram simulados quatro cenários com mobilidade estacionária e com quantidade de nós de 25, 36, 49 e 81. Para cada cenário foram definidos dois tempos de sensoriamento para os nós sensores: 10 e 30 segundos. Em ambos os casos, o posicionamento do nó responsável em centralizar o recebimento de dados (nó *sink*) foi avaliado no centro e em um canto da área, sendo que as simulações para cada cenário foram repetidas 33 vezes. As Tabelas 1 e 2 apresentam os resultados das simulações em relação ao tempo de coleta de 10 e 30 segundos, respectivamente.

Tabela 1: Dados das redes simuladas com envio de um pacote a cada 10 segundos.

	Qtd.de nós	Nó <i>sink</i>	Pacotes Recebidos (nó <i>sink</i>)	Pacotes Enviados	Perda de Pacotes Enviados	Energia Consumida (Joules)	Energia Consumida /Pacotes recebidos
conf_6x6	36	centro	50,377	541,379	296,285	18,018	0,357
conf_6x6	36	canto	26,083	438,883	195,816	17,605	0,674
conf_7x7	49	centro	64,146	699,404	420,871	19,117	0,298
conf_7x7	49	canto	35,488	736,022	460,252	19,179	0,540
conf_8x8	81	centro	72,253	773,474	480,615	19,929	0,276
conf_8x8	81	canto	45,922	921,17	629,839	20,28	0,442

Tabela 2: Dados das redes simuladas com envio de um pacote a cada 30 segundos.

	Qtd.de nós	Nó <i>sink</i>	Pacotes Recebidos (nó <i>sink</i>)	Pacotes Enviados	Perda de Pacotes Enviados	Energia Consumida (Joules)	Energia Consumida / Pacotes recebidos
conf_6x6	36	centro	19,729	361,089	105,002	17,538	0,888
conf_6x6	36	canto	10,752	327,96	75,707	17,318	1,610
conf_7x7	49	centro	25,869	439,683	153,764	18,315	0,708
conf_7x7	49	canto	13,766	452,039	169,211	18,369	1,334
conf_8x8	81	centro	30,193	480,153	184,732	18,868	0,625
conf_8x8	81	canto	19,512	541,179	246,541	19,015	0,975

Pode-se observar que, mesmo variando a quantidade de nós e o tempo de coleta, o posicionamento do nó *sink* no centro obteve melhor resultado, em todos os cenários, em relação à energia consumida pela quantidade de pacotes recebidos.

4. Conclusões

Após as várias simulações com diferentes configurações de redes, chegou-se à conclusão que a localização do nó *sink* está diretamente relacionada ao consumo de energia em uma RSSF.

A localização do nó *sink* deve visar à diminuição da distância máxima entre ele e os outros nós sensores da rede, minimizando o problema de encaminhamento de dados por nós sensores intermediários para os nós sensores que não possuem capacidade de comunicação direta com o nó *sink*.

A quantidade de nós sensores da rede também está diretamente relacionada ao consumo de energia, pois um número maior de nós sensores causa aumento de dados trafegando pela rede, inclusive de dados de controle para descoberta de novas rotas.

Referências

- Bhatti, R. e Kaur, G. (2017). Virtual Grid based energy efficient mobile sink routing algorithm for WSN, In: *2017 11th International Conference on Intelligent Systems and Control (ISCO)*, Coimbatore, pp. 30-33.
- Gupta, A., Thakur, A., Saini, H. S., Kumar, R. e Kumar, N. (2016). H-IECBR: HBO based-Improved Energy Efficient Chain Based Routing protocol in WSN, In: *2016 IEEE 1st International Conference on Power Electronics, Intelligent Control and Energy Systems (ICPEICES)*, Delhi, pp. 1-4.
- Kumar, D. (2014). Performance analysis of energy efficient clustering protocols for maximising lifetime of wireless sensor networks, in *IET Wireless Sensor Systems*, vol. 4, no. 1, pp. 9-16, March 2014.
- Kumar, D., Aseri, T.C., e Patel, R.B. (2009). EEHC: energy efficient heterogeneous clustered scheme for wireless sensor networks, In: *Elsevier Comput. Commun.*, 32, (4), pp. 662–667.
- Mondal, S., Dutta, P., Ghosh, S. e Biswas, U. (2016). Energy efficient rough fuzzy set based clustering and cluster head selection for WSN, In: *2016 2nd International Conference on Next Generation Computing Technologies (NGCT)*, Dehradun, India, pp. 439-444.
- Pantazis, N. A., Nikolidakis, S. A. e Vergados, D. D. (2013). Energy-Efficient Routing Protocols in Wireless Sensor Networks: A Survey, In: *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 15, no. 2, pp. 551-591.
- Ruiz, L. B., Loureiro, A. A. F., Silva, F. A., Silva, T. R. M. B., Pozza, R. S., Costa, J. C. C., Gonçalves, P. C. e Silva, C. A. (2011). Engenharia de computação invisível. In: DE SOUZA, A. F.; MEIRA JR., W. (Org.), *Atualizações em Informática 2011*, capítulo 8. PUC-Rio.
- Stattner, E., Vidot, N., Hunel, P. e Collard, M. (2012). Wireless sensor network for habitat monitoring: A counting heuristic. In: *2012 IEEE 37th Conference on Local Computer Networks Workshops (LCN Workshops)*, p. 753–760.
- Tanenbaum, A. S e Wetherall, D. (2011). *Redes de computadores*. Tradução: Daniel Vieira. 5ª ed. São Paulo: Person.
- Xin, G., Yong, X. W. e Fang, L. (2008). “An energy-efficient clustering technique for wireless sensor networks”. *Proc. Int. Conf. IEEE Networking, Architecture, and Storage*, pp. 248–252.

Projeto GardenTech: Uma Plantação Residencial Tecnológica de Baixo Custo

**Cleyton C. Gomes, Gustavo M. Moreira, Gabriel J. S. Souza, Lúcio F. S. Zebendo,
Vinícius M. Vieira, Anderson F. Souza, Rafael E. L. Escalfoni**

Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (CEFET-RJ)
Av. Gov. Roberto Silveira, 1900, Prado – Nova Friburgo – RJ – Brasil

{cleytoncunha12, gmuller, gabrieljs, lucio.fsz, vini.08.nf}@gmail.com,
{anderson.souza, rafael.escalfoni}@cefet-rj.br

***Abstract.** The lacks of places to produce and waste food are the major challenges nowadays. With the growth of cities, these problems tend to worsen the situation if we do not get a solution of space utilization. In this context, we present the GardenTech Project - a system based on sensor networks capable of maintaining small plantings, providing the necessary energy for plant growth without the addition of pesticides or fertilizers. This article summarizes the main architectural decisions of the project and presents a developed prototype.*

***Resumo.** A falta de locais para o cultivo e o desperdício de alimentos são grandes desafios atuais. Com o crescimento das cidades, tais problemas tendem a piorar caso não haja uma solução de aproveitamento de espaços. Neste contexto, apresentamos o Projeto GardenTech – um sistema baseado em redes de sensores, que fornece a energia necessária para o crescimento vegetal sem adição de agrotóxicos ou fertilizantes. Este artigo resume as principais decisões arquiteturais do projeto e apresenta um protótipo desenvolvido.*

1. Introdução

Um dos maiores problemas enfrentados na contemporaneidade é a falta de espaço e o grande desperdício na produção mundial de alimentos. Conforme as cidades crescem, o espaço físico se torna cada vez mais concorrido e escasso, por conseguinte a produção de alimentos mais complexa e cara [Carneiro *et al.* 2016].

Partindo desta análise, foi desenvolvido o Projeto GardenTech – um sistema capaz de manter uma pequena plantação forte e saudável no interior de uma residência, sem necessitar de adição de agrotóxicos ou fertilizantes. O objetivo é fornecer a energia necessária para o conjunto das reações fotossintetizantes através da utilização de diodos emissores de luz (leds) ajustados para emitir os comprimentos de onda mais facilmente absorvidos de acordo com os pigmentos das plantas que serão cultivadas. Dessa forma, nosso projeto pode ser visto como uma plantação automatizada que está livre de muitas variáveis climáticas e por isso consegue assegurar uma produção eficaz.

O restante deste artigo está estruturado como segue: na Seção 2, é apresentado o referencial teórico, enquanto na Seção 3 é resumida a proposta e os detalhes da implementação. Os resultados obtidos são apresentados na Seção 4 e, por fim, na Seção 5 são feitas algumas considerações finais.

2. Referencial Teórico

Os vegetais possuem grande amplitude de ajuste às variáveis do ambiente externo para dar continuidade ao seu desenvolvimento [Evert e Eichhorn 2013]. Embora possam se ajustar em algum grau às condições climáticas, as plantas possuem o que pode ser chamado de condição ideal de desenvolvimento. Variáveis como a radiação solar, fotoperíodo, umidade e nutrição do solo, por exemplo, podem ser ajustadas com a utilização de sensores e atuadores em ambientes controlados com a finalidade de se obter uma maior eficiência de produção [Monteiro Neto et al. 2016]. Conforme dispõe a teoria da trofobiose, plantas equilibradas nutricionalmente são mais tolerantes e resistentes a doenças, o que contribui fortemente para adoção de práticas agrícolas mais limpas, dispensando ou minimizando o uso de pesticidas e agrotóxicos, diminuindo o efeito nocivo desses elementos e seus resíduos ao meio ambiente [Pereira et al. 2015].

Com a popularização da plataforma de prototipagem Arduino e disponibilidade de grande gama de sensores compatíveis, torna-se cada vez mais viável o desenvolvimento de equipamentos e sistemas destinados a auxiliar na produção de alimentos [Agrawal e Singhal 2015], seja em grande ou pequena escala nos ambientes urbanos sob a forma de agricultura urbana [McRoberts 2011][Mendes 2016]. A agricultura urbana é um conceito aplicado ao cultivo, produção e distribuição de itens alimentícios e não alimentícios em áreas urbanas [Carneiro et al. 2016]. Tecnologias como o uso de telhados verdes e hortas verticais e hortas coletivas são exemplos de agricultura urbana.

Principalmente nos grandes centros urbanos, é crescente a demanda pela população de alimentos mais saudáveis, no entanto, pela reduzida disponibilidade de áreas cultiváveis nesses centros, ocorre uma ampliação do uso de tecnologias de cultivo em espaços alternativos *in door*, como no interior de residências e subterrâneos. Nesses ambientes, a disponibilidade de radiação solar é comprometida, o que pode ser contornado com a utilização de iluminação artificial. Os vegetais possuem um espectro de absorção luminosa mais intenso na faixa de 430nm (azul) e 680nm (vermelho), fazendo com que a utilização de diodos dessas cores de acordo com as demandas de cada espécie, juntamente com o fornecimento de água e nutrientes adequados, aumentem a eficiência fotossintética do vegetal e, conseqüentemente, a incorporação de carbono, potencializando o seu desenvolvimento [Taiz e Zeiger 2013].

3. O Projeto GardenTech

O projeto foi desenvolvido em duas partes componentes, conforme o esquema da Figura 1. A *central de plantio* – composta por uma rede de sensores e atuadores que age diretamente no cultivo; e *interface com o usuário* – um aplicativo que recebe sinais e, de acordo com os parâmetros de plantio, adapta as condições de ambiente.

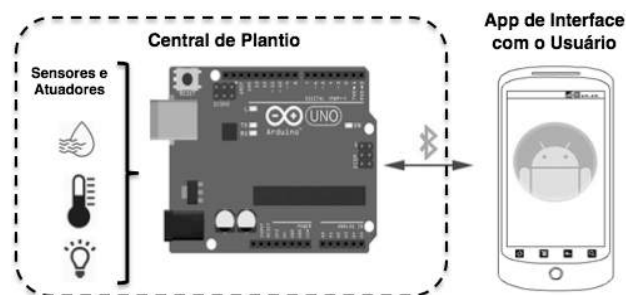


Figura 1 Esquema Arquitetural do Projeto GardenTech

A central de plantio é controlada por um Arduíno e possui um módulo RTC, encarregado de controlar as horas de iluminação necessárias para as plantas; um conjunto de leds do tipo *led grow* de alta potência (1W), em uma proporção de 1/3 de leds azuis e 2/3 de vermelhos; uma bomba de água para irrigação, ventiladores, sensores de umidade, temperatura e luz, um módulo Bluetooth, além de fonte de alimentação 12v. O custo com os componentes é detalhado na Tabela 1.

A interface com o usuário é uma aplicação Android que se comunica com a planta através de Bluetooth. O usuário informa quais são os parâmetros de umidade, temperatura e iluminação adequados para a espécie plantada e a central de plantio retorna com os sinais de leitura do ambiente, fazendo as correções na umidade através do atuador de irrigação, na luminosidade por meio dos leds e na temperatura acionando pequenos ventiladores instalados.

Tabela 1 Custos

Equipamentos	Valores (R\$)
Arduíno, RTC, Bluetooth	75,00
Sensores, atuadores e fonte	65,00
Jardineiras e estrutura	18,00
Total	158,00

4. Resultados Obtidos

Com o objetivo de verificar a validade e a aceitação da proposta, foram realizados testes de laboratório com um protótipo construído a partir de materiais recicláveis. Para melhor controle, o experimento foi dividido em três etapas: Estágio 1 – testes com a central de plantio, com parâmetros configurados previamente; Estágio 2 – avaliação da interface com o usuário, onde foi verificada a efetividade da comunicação entre o aplicativo e a central de plantio; Estágio 3 - experimento com o sistema completo.

A Figura 2 apresenta o primeiro protótipo executando o primeiro estágio de testes. Observam-se os leds acesos, o irrigador sobre o vaso, além dos sensores e reservatórios de água. Durante esta fase, buscou-se controlar o cultivo de hortaliças em um cômodo sem iluminação. Foram semeadas diversas espécies: feijão, pimenta, alecrim, aipo e cenoura – todas de desenvolvimento inicial rápido [EMBRAPA 2010]. O ensaio avaliou a capacidade do sistema em estimular o crescimento das diferentes espécies que possuem diferentes exigências luminosas, de água e nutricionais, operando em modo padrão, ou seja, com o fotoperíodo de 12 horas escuro/claro, umidade de solo entre 75 e 80% e temperatura entre 25 e 28°C. Após 14 semanas, todas as mudas emergiram e atingiram sua fase vegetativa.

5. Considerações Finais

A agricultura urbana em pequenos espaços é uma alternativa viável para o cultivo de alimentos e nesse contexto, o Projeto GardenTech mostrou-se uma tecnologia acessível e de baixo custo para obtenção de alimentos mais saudáveis e livres de agrotóxicos em ambientes reduzidos, mesmo em sua configuração padrão. O projeto foi apresentado em dois eventos tecnológicos do CEFET-RJ tendo conquistado prêmio de honra ao mérito. Futuramente, serão conduzidos ensaios com cada espécie a fim de obter as melhores condições de desenvolvimento de cada vegetal.



Figura 2 Primeiro Experimento

Referências

- Agrawal, N., Singhal, S. (2015). “Smart Drip Irrigation System using Raspberry pi and Arduino”, In *International Conference on Computing, Communication and Automation (ICCCA2015)*, pag. 928-932.
- Carneiro, M. F. B., Pereira, L. A. G., Gonçalves, T. M. (2016). “Agricultura Urbana e Segurança Alimentar no Brasil: desafios e perspectivas”, In *Revista Desenvolvimento Social*, vol. 19(1), 2016.
- Evert, R. F., Eichhorn, S. E. (2013). *Biology of Plants*. W.H. Freeman/Palgrave Macmillan, 8º edição.
- McRoberts, M. (2011). *Arduino básico*. São Paulo: Novatec, 1ª edição.
- Mendes, L. S. (2016). “Agricultura Urbana e Periurbana como Fonte de Renda através do Autoconsumo”, Monografia (Bacharelado em Ciências Econômicas) – UFSC, Florianópolis.
- Monteiro Neto, J. L. L., Araújo, W. F., Vilarinho, L. B. O., Silva, E. S., Araújo, W. B. L., Sakazaki, R. T. (2016). “Produção de mudas de pimentão (*Capsicum annuum* L.) em diferentes ambientes e substratos”, In *Agrária*, vol. 11(4), pag. 289-297.
- Pereira, R. C., Vieira Júnior, J. O. L., Santana, F. C., Willems, M. I., Cardoso, I. M. (2015). “Café com Agroecologia na Zona da Mata de Minas Gerais”, In *IX Congresso Brasileiro de Agroecologia*, Cadernos de Agroecologia, vol. 10(3), 2015.
- Taiz, L.; Zeiger, E. (2013). *Fisiologia vegetal*. Porto Alegre: Artmed, 5ª edição.

Pharmabook – Um Ambiente Colaborativo para Pesquisa de Preços e Controle de Estoque Pessoal de Medicamentos

Rafael V. B. Ferreira, Irlon S. Lamblet, Carolina L. Aguilar,
Luis C. B. Silva, Rafael E. L. Escalfoni

Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (CEFET-RJ)
Av. Gov. Roberto Silveira, 1900, Prado – Nova Friburgo – RJ – Brasil

{rafaelviniciusbarros5, irloncefet}@gmail.com, {carolina.aguilar,
luis.silva, rafael.escalfoni}@cefet-rj.br

Abstract. *Access to drugs is a fundamental part of improving the population's quality of life. With the improve of the conditions of treatments and increase of life expectation, the medicine consumption has increased, representing an item with the highly impact on the domestic budget. This paper presents the Pharmabook, a collaborative environment for price sharing aimed at facilitating access to information on drug prices, as well as to help control the personal stock of medications, aiming at better planning of purchases.*

Resumo. *O acesso a medicamentos é parte fundamental para melhoria da qualidade de vida das populações. Com o aprimoramento das condições de tratamentos e o aumento da expectativa de vida, o consumo de medicamentos tem crescido, constituindo um dos itens de maior impacto no orçamento doméstico. O presente artigo apresenta o Pharmabook, um ambiente colaborativo que visa facilitar o acesso a informação sobre preços de medicamentos, como também, auxiliar no controle do estoque pessoal de medicamentos, visando um melhor planejamento das compras.*

1. Introdução

Os medicamentos constituem parte essencial para a promoção da melhoria da qualidade de vida das populações e para o sucesso de ações promovidas pelo sistema de saúde. A melhoria da qualidade de tratamentos e o aumento da expectativa de vida da população tem feito crescer o consumo de medicamentos.

Estima-se que no Brasil, o consumo de medicamentos constitua um dos itens de maior gasto familiar [Crispin 2008]. A discrepância de valores oferecidos no varejo tem forte influência nos gastos, muito por conta da assimetria de informações e da fidelidade às marcas, apesar da ampla divulgação dos medicamentos genéricos promovida pela Política Nacional dos Medicamentos desde 1998 [Miranda et al. 2009].

O presente trabalho apresenta o Pharmabook, um aplicativo que dispõe de mecanismos de colaboração entre usuários para divulgação de preços praticados por diferentes farmácias na vizinhança e um controle de estoque para que o consumidor possa planejar suas compras. O restante do artigo está estruturado como segue: na Seção 2, é apresentado o referencial teórico, enquanto na Seção 3 é resumido o aplicativo Pharmabook. Os resultados obtidos são apresentados na Seção 4 e, por último, na Seção 5 são feitas as conclusões finais.

2. Referencial Teórico

Nas últimas décadas, o Brasil tem ampliado suas políticas públicas na tentativa de oferecer a população maior acesso a medicamentos e atendimento de saúde. Seguindo uma tendência de outros países, o governo brasileiro promoveu em 1998 uma política de regulamentação de medicamentos genéricos, para estimular a concorrência comercial e melhorar a qualidade dos medicamentos [Miranda et al. 2009].

Com um número excessivo de farmácias no Brasil, estima-se uma razão de uma loja para cada 3.500 habitantes [Silva e Rocha 2016], as farmácias recorrem a artifícios como vender medicamentos bonificados para se manterem abertas. A indicação de tais medicamentos, unida à falta de conhecimento do consumidor, tem prejudicado a venda de genéricos e impactado no preço final ao consumidor.

Um outro importante aspecto é o uso racional dos medicamentos, que segundo a OMS (2002), ocorre quando os pacientes recebem medicação apropriada às suas necessidades clínicas, dentro de parâmetros de dosagem e período recomendados para seu quadro e ao menor custo possível para si e para a comunidade [Aquino 2008]. Ocorre que no Brasil, muitas vezes a população estoca medicamentos em casa de maneira inapropriada, o que leva a inúmeros casos de intoxicações medicamentosas [Mastroianni et al. 2011].

Tais problemas se acentuam nos casos de pessoas portadoras de doenças crônicas e idosos, devido ao uso habitual de medicamentos e, normalmente, não podem deixar de usá-los. Apesar do Sistema Único de Saúde (SUS) fornecer gratuitamente uma relação de medicamentos essenciais, muitos medicamentos de uso contínuo estão fora da lista [Helfer et al. 2012]. Paniz e sua equipe (2008), em estudo feito em municípios do Sul e Nordeste constataram que o acesso a medicamentos contínuos em adultos chega a 81%, logo, o custo da medicação e sua correta estocagem é fundamental para o equilíbrio das contas domésticas. O Pharmabook foi concebido para lidar com tais dificuldades, buscando reduzir os impactos no orçamento familiar.

3. Projeto do Pharmabook

Para o método de desenvolvimento adotou-se como base o *Lean Startup*, no qual prega a construção de um produto mínimo viável (MVP - *Minimum Viable Product*), visando a criação de um produto a partir do que realmente importa ao cliente [Ries 2011].

Como ferramenta para especificação dos requisitos funcionais do sistema foi utilizada a UML, com foco na representação das funcionalidades, estrutura e interação das classes dos objetos do sistema. Dentre os modelos desenvolvidos, a Figura 1 apresenta do diagrama de casos de uso com as principais funcionalidade do aplicativo.



Figura 1. Casos de Uso da aplicação Pharmabook

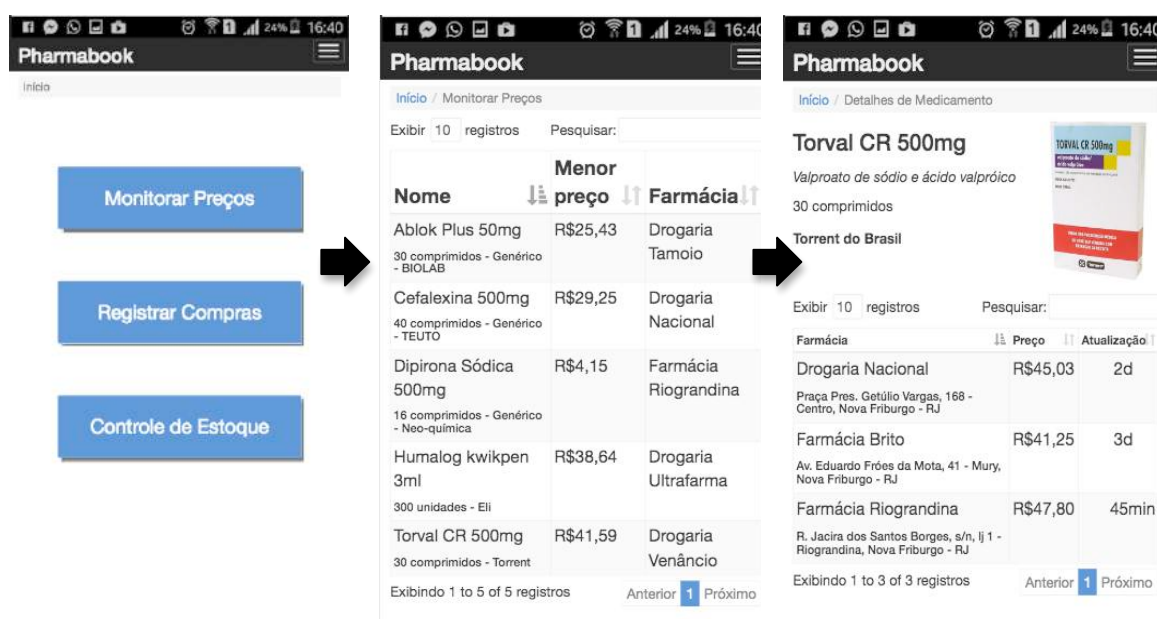
Quadro 1: Descrição resumida dos Casos de Uso do aplicativo PharmaBook

Tema	Funcionalidades
Precificar Medicamento	O usuário pode atualizar os preços dos medicamentos consultados nas farmácias, e estes são imediatamente disponibilizados para a comunidade de usuários do Pharmabook.
Registrar Posologia	Registro da periodicidade para uso de cada medicamento registrado no aplicativo para uso pessoal. Utilizado para contabilização do estoque.
Visualizar Favoritos	Recurso de consulta rápida dos medicamentos precificados selecionados como favoritos na base pessoal do usuário.
Manter Medicamentos Pessoais	Permite o cadastro dos medicamentos utilizados pelo usuário. Utiliza como apoio base de medicamentos disponibilizada pela Anvisa
Manter Farmácia	Permite o cadastro das farmácias pelo usuário, que ficam disponíveis para a comunidade de usuários do aplicativo.
Cadastrar Usuário	Permite o cadastro de novos usuário para uso do aplicativo.
Manter Perfil	Permite que o usuário faça atualizações dos dados do seu perfil, alteração do login e senha, como também, a exclusão do perfil.

Para o projeto arquitetural da aplicação, foi utilizado a estrutura de camadas do padrão *Model-View-Controller* (MVC), visando trazer ao projeto uma boa separação da interface de usuário, lógica de negócios e separação de responsabilidades. Em relação à codificação do lado servidor, foi utilizada a linguagem PHP com o framework de desenvolvimento Slim. No lado do cliente, foram utilizadas tecnologias como, HTML, CSS, Bootstrap, Datatable, JavaScript junto de bibliotecas jQuery e jQuery mobile. O SGBD usado foi o MySQL unido ao ambiente de desenvolvimento do Xampp.

4. Resultados Obtidos

O *design* responsivo aplicado no desenvolvimento da interface do usuário propiciou um uso adequado em dispositivos móveis, o que aumenta a aderência ao uso do aplicativo. Também, análise de interação humano-computador foram realizadas visando que o aplicativo pudesse oferecer boa acessibilidade para pessoas idosas. A Figura 2 apresenta o fluxo de telas ao monitorar e detalhar preços de um medicamento.

**Figura 2. Telas do aplicativo Pharmabook**

5. Conclusão e trabalhos futuros

O preço de medicamentos sofre com uma alta variabilidade entre farmácias e impacta no orçamento doméstico. Possibilitar o acesso a informações sobre o valor médio e a disponibilidade do produto nas lojas próximas pode auxiliar na decisão de compra, reduzindo seus custos. Diante desse cenário, e por conta da popularização dos aparelhos *smartphones*, apresentamos neste trabalho o Pharmabook, um aplicativo para controle de estoque de medicamentos e busca de preços. Desenvolvido com uso da metodologia *Lean Startup* que proporciona interações rápidas com futuros usuários, o sistema utiliza tecnologias responsivas independentes de plataforma. Futuramente, pretendemos rodar um experimento formal para validar a eficácia da ferramenta e evoluir os ciclos de interação para acrescentar novas funcionalidades.

References

- Aquino, D. S. de (2008), “Por que o uso racional de medicamentos deve ser uma prioridade?”, In *Ciência & Saúde Coletiva* vol. 13, pag. 733-736.
- Crispin, R. I. C. (2008), “Impacto da Política Nacional de Medicamentos (PNM) no Acesso a Medicamentos Gratuitos”, Dissertação – UFC, Fortaleza, CE.
- Helfer A. P., Camargo A. L., Tavares N. U. L., Kanavos P., and Bertoldi A. D. (2012), “Capacidade aquisitiva e disponibilidade de medicamentos para doenças crônicas no setor public”, In *Rev Panam Salud Publica*, 2012, vol. 31(3), pag. 225–232.
- Mastroianni P. C., Lucchetta R. C., Sarra J. R., and Galduróz J. C. F. (2011), “Estoque doméstico e uso de medicamentos em uma população cadastrada na estratégia saúde da família no Brasil”, In *Rev Panam Salud Publica*. 2011, vol. 29(5), pag. 358–64.
- Miranda, E. S., Pinto, C. B. S., Reis, A. L. A., Emmerick, I. C. M., Campos, M. R., Luiza, V. L., e Osorio-de-Castro, C. G. S. (2009), “Disponibilidade no setor público e preços no setor privado: um perfil de medicamentos genéricos em diferentes regiões do Brasil”, In *Caderno de Saúde Pública*, 2009, vol. 25(10), pag. 2147-2158.
- OMS - Organización Mundial de la Salud. (2002), “Perspectivas políticas sobre medicamentos de la OMS. Promoción del uso racional de medicamentos: componentes centrales”, Disponível em: <<http://apps.who.int/medicinedocs/pdf/s4874s.pdf>>. Acessado em 11 fev 2017.
- Paniz, V. M. V., Fassa, A. G., Facchini, L. A., Bertoldi, A. D., Piccini, R. X., Tomasil, E., Thumé, E., Silveira, D. S., Siqueira, F. V., and Rodrigues, M. A. (2008), “Acesso a medicamentos de uso contínuo em adultos e idosos nas regiões Sul e Nordeste do Brasil”, In *Cad. Saúde Pública*, Rio de Janeiro, vol. 24(2), Feb. 2008.
- Ries, E. (2011) “The lean startup: How today's entrepreneurs use continuous innovation to create radically successful businesses”, Crown Business, 2011.
- Silva, N. C. S. and Rocha, L. C. R. (2016), "Medicamentos Genéricos: Legislação, Política e Mercado", In *ÚNICA Cadernos Acadêmicos*, vol. 3(1) (2016).

Objeto de Estudo de Letramento (OEL), um objeto de aprendizagem para auxílio a alfabetização infantil

Kaio Alexandre da Silva¹, Luis Filipe de Castro Sampaio¹, Saimor Raduan Araújo Souza¹, Lucas Felipe Alves de Araújo¹, Silvio Luiz de Freitas¹, Marcel Leite Rios¹

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia – *Campus* Porto Velho Calama (IFRO)

Caixa Postal 15.064 – 76.820-44 – Porto Velho – RO – Brasil

{luizw12345, saimorraduan, donpizza.if}@gmail.com,
{Kaio.silva, silvio.freitas, marcel.rios}@ifro.edu.br

Abstract. *In recent years the number of people who have mobile devices in Brazil has grown. Through smartphones or tablets anyone can access a vast amount of information anywhere, anytime. In this context, using technology in education enables a new style of learning, less onerous to the student and more practical. Based on the concept of Mobile Learning, the "Object of Study of Literature" (OEL) was developed. Consists of an application and a WEB system. Frequent use of the application enables student learning through the application. The use of the application by the students can be accompanied by the WEB monitoring system.*

Resumo. *Nos últimos anos o número de pessoas que possuem dispositivos móveis no Brasil tem crescido. Através de smartphones ou tablets qualquer pessoa tem a possibilidade de ter acesso a um vasto volume de informações em qualquer lugar, a qualquer hora. Neste contexto, utilizar as tecnologias na educação possibilitam um novo estilo de aprendizado, menos oneroso ao estudante e mais prático. Com base no conceito do Mobile Learning, foi desenvolvido o "Objeto de Estudo de Letramento" (OEL). Constituído por um aplicativo e um sistema WEB. A frequente utilização do aplicativo possibilita o aprendizado do aluno por meio do aplicativo. A utilização do aplicativo pelos alunos pode ser acompanhada pelo sistema de acompanhamento WEB.*

1. Introdução

De acordo com [Silva and Crenitte 2016], problemas relacionados ao aprendizado da leitura, escrita e pronúncias de palavras podem surgir durante a infância de uma criança. Caso não haja o tratamento dessas disfunções previamente, este indivíduo poderá ser tornar um analfabeto. Conforme os autores [Terra 2013] e [Soares 1998] uma pessoa é considerada analfabeta quando não consegue extrair informações, por meio da leitura de qualquer tipo de texto, seja ele um texto escrito, comuns no processo chamando de letramento, ou de uma imagem, que segundo [Stokes 2002] é utilizado no chamado de letramento visual.

Na última década, a rápida difusão de dispositivos móveis na sociedade, trouxe um ambiente com oportunidades de inovações no processo educacional. Segundo [Kampff and et al 2006], qualquer tipo de material que tenha sido desenvolvido para fins educacionais pode ser considerado um objeto de aprendizagem. Sendo assim, softwares que possuam o objetivo de transmitir conhecimento sobre determinado assunto aos seus usuários podem ser considerados um objeto de aprendizagem.

Com a evolução da tecnologia e o surgimento dos *smartphones* e *tablets*, nasceu um novo estilo de aprendizagem chamado de *Mobile Learning (M-Learning)*, que segundo [Kukulska-Hulme and Traxler 2005] possibilita ao usuário aprender em qualquer lugar e a qualquer hora. Utilizar tais tecnologias como aliadas ao ensino, auxilia na abertura de oportunidades para o aluno trabalhar a sua criatividade, ao mesmo tempo em que se torna um elemento de motivação e colaboração, uma vez que o processo de aprendizagem da criança se torna atraente, divertido, significativo e auxilia na resolução de problemas que podem ser resolvidos conjuntamente com outras crianças. Neste sentido, o desenvolvimento de um aplicativo móvel para auxiliar no processo do ensino das letras, possibilitando a criança aprender as letras através do processo de assimilação entre os elementos visuais e sonoros introduzidos no aplicativo.

Para que esse aprendizado se torne efetivo é fundamental o acompanhamento de um professor para conduzir o aluno, retirando as dúvidas e dificuldades que ele não consiga superar de forma autônoma. Neste sentido, desenvolver sistemas educacionais que dão suporte ao aprendizado é um desafio a ser superado, visto que aplicações que enfoquem apenas na transmissão de conteúdo podem não ser tão eficazes no processo de aprendizagem do aluno. Com base nisso, utilizar técnicas de recomendações para verificar os índices de aprendizagem dos alunos e demonstrar para o professor os alunos que estão abaixo de um índice estabelecido, fornecendo a estes um acompanhamento personalizado, podem reduzir as dificuldades que normalmente são difíceis de serem identificadas no dia-a-dia. Técnicas de recomendações são geralmente utilizadas em sistemas de vendas e entretenimento. [Garcia and Frozza 2013] define como um sistema que utiliza dados obtidos sobre seus usuários para poder realizar recomendações sobre algo de seu interesse ou necessidade, para isso, as técnicas de recomendações analisam frequentemente os dados obtidos do usuário.

O desenvolvimento do Objeto de Estudo de Letramento (OEL), foi idealizado para realizar a junção do *M-Learning* e objeto de aprendizagem, complementado por um sistema de monitoramento de tempo real, possibilitando ao professor o acompanhamento da evolução do aluno durante o processo de aprendizado. Para melhor entendimento desse artigo, ele está dividido da seguinte forma: Seção 2 - metodologia, descrevendo o OEL; Seção 3 - conclusões parciais e os trabalhos futuros.

2. Metodologia

O processo de alfabetização de uma criança é composto por etapas, sendo uma das primeiras o ensino do alfabeto. Com isso, desenvolvido uma ferramenta lúdica que estimule crianças a aprender e ao mesmo tempo auxiliar os professores no processo de alfabetização. A figura 1 exibe o funcionamento do OEL, demonstrando que ele é formado por um sistema *web*, uma base de dados, um *Web Service* e um aplicativo móvel. O sistema *web* foi nomeado de 'Sistema de Acompanhamento de Desenvolvimento' (SAD). O aplicativo móvel foi desenvolvido para a plataforma

Android, a base de dados escolhida foi o *MySQL* e o *Web Service* foi desenvolvido com a linguagem de programação *PHP*. A ideia principal do OEL é possibilitar ao professor, o acompanhamento do uso do aplicativo pelos seus alunos, pois é através deste uso que o sistema poderá identificar as dificuldades dos alunos e recomendar ao professor realizar o acompanhamento de forma mais personalizada.

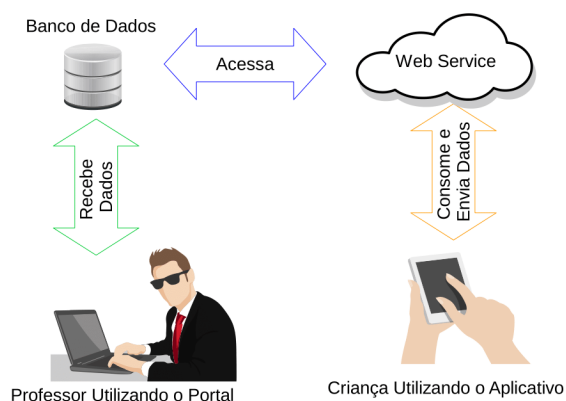


Figura 1. Fluxo de dados

Para isso, o aplicativo foi idealizado para funcionar semelhante as cartilhas utilizadas no processo de alfabetização. Ao entrar no aplicativo é exibido, ao usuário, todas as letras do alfabeto da língua portuguesa. Nesta tela, a criança pode selecionar a letra que deseja aprender. Quando uma letra é selecionada, um áudio contendo a pronúncia desta letra é executado e logo em seguida uma nova tela é apresentada. Tal tela é constituída por imagens associadas à letra selecionada. As imagens constituintes da tela representam as seguintes categorias: alimento, animal, lugar do mundo, nomes masculinos e nomes femininos. Quando uma imagem for selecionada, o áudio é reproduzido descrevendo informações acerca da imagem selecionada. Quando a criança escutar todos os áudios pertencentes à imagem, a atividade proposta com base no conceito de assimilação referente às categorias apresentadas é liberada para execução. Todas as interações realizadas com o aplicativo como por exemplo escolher a letra, são salvas no banco de dados através da utilização do *Web Service*. O fluxo da utilização do aplicativo é apresentado na figura 2.

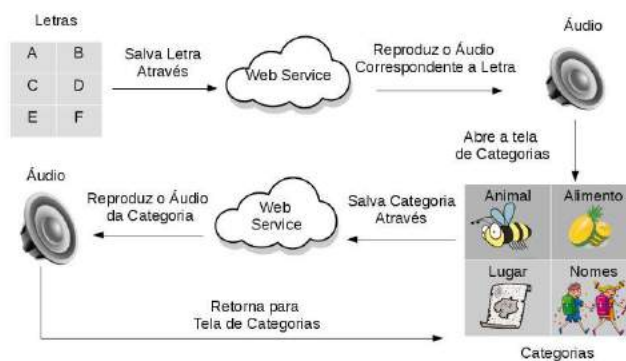


Figura 2. Fluxo de utilização do aplicativo

O SAD utiliza as tecnologias: *HTML*, *CSS*, *JavaScript* e *PHP*. Nele, o professor pode acompanhar o desempenho de cada um de seus alunos que utilizam o aplicativo

em forma de gráficos. Além disso, o sistema identifica quais as letras foram as mais e menos acessadas, o histórico do desempenho de cada aluno e recomendações de alunos que estão abaixo da média estabelecida (alunos que serão recomendados para o acompanhamento individual).

O OEL será testado em uma escola da rede pública, em uma turma do primeiro ano do ensino fundamental, a qual será dividida em dois grupos, sendo que só um dos grupos utilizará o aplicativo. A intenção é quantificar a influência do OEL ao longo do aprendizado, para isso uma reunião junto ao professor da turma é realizada a cada quinze dias para saber do andamento dos dois grupos estabelecidos na turma.

3. Considerações parciais e trabalhos futuros

A utilização de novas tecnologias no âmbito da educação pode estimular o aprendizado dos alunos, possibilitando trabalhar a sua criatividade, ao mesmo tempo em que se torna um elemento de motivação e colaboração. Isto deixa o processo de aprendizagem mais atraente, divertido e significativo, além disso o aluno cresce com a consciência de um uso mais eficiente das tecnologias que permeiam as nossas vidas.

Como trabalho futuros é proposto o acompanhamento durante o ano junto a turma estipulada, ao final deste período, é previsto a realização de melhorias no OEL para que no ano seguinte se possa realizar um teste mais robusto do uso da tecnologia, ampliando a quantidade de alunos envolvidos no grupo experimental. Todos os dados gerados durante esse período de acompanhamento serão analisados e divulgados através da produção científica. Como resultado final da pesquisa, espera-se deixar o OEL disponível para que qualquer docente do país possa utilizá-lo.

Referências

- Garcia, C. A. and Frozza, R. (2013). Sistema de recomendação de produtos utilizando mineração de dados. *Revista Tecno-Lógica*, 17:78–90.
- Kampff, A. J. C. and et al (2006). Nós no mundo: objeto de aprendizagem voltado para o 1º ciclo do ensino fundamental. *RENTE - Revista Novas Tecnologias na Educação*, 4:1–10.
- Kukulska-Hulme, A. and Traxler, J., editors (2005). *Mobile learning: a handbook for educators and trainers*. Open and Flexible Learning Series. Routledge, London, UK.
- Silva, N. S. M. and Crenitte, P. A. P. (2016). Desempenho de crianças com risco para dificuldade de leitura submetidas a um programa de intervenção. *CoDAS*, 28:517 – 525.
- Soares, M., editor (1998). *Letramento - Um Tema Em Três Gêneros*. Autêntica Editora.
- Stokes, S. (2002). Visual literacy in teaching and learning: A literature perspective. *Elec-tronic Journal for the Integration of Technology in Education*.
- Terra, M. R. (2013). Letramento letramentos: uma perspectiva sócio-cultural dos usos da escrita. *DELTA: Documentação de Estudos em Linguística Teórica e Aplicada*, 29:29– 58.

Matemática para Alunos Autistas, um Estudo Sobre a Utilização de Ferramentas Tecnológicas no Processo de Ensino e Aprendizagem

Anderson Daniel Stochero¹, Bruna Willig Kopplin¹, Cristiane da Silva Stamberg¹,
Andréa Pereira¹

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha – IFFAR (campus Santo Ângelo) Caixa Postal 15.064 – 91.501-970 – Santo Ângelo – RS – Brazil

anderson_stochero@yahoo.com.br, brunawkopplin@gmail.com,
{cristiane.stamberg, andrea.pereira}@iffarroupilha.edu.br

Abstract. *This article discusses the development of a research project based on the proposal of games and didactic materials creation through the use of software and technological tools, in order to contribute to the process of teaching and learning in mathematics of young people with autism spectrum disorder. The study is in phase of research and analysis of the factors and other aspects related to the characteristics of the subject, through interviews with professionals of the area, educators, associations and the subjects of the research. The next step is to identify the most appropriate tools and create the proposed items.*

Resumo. *Este artigo aborda o desenvolvimento de um projeto de pesquisa baseado na proposta de criação de jogos e materiais didáticos através da utilização de softwares e ferramentas tecnológicas, a fim de contribuir com o processo de ensino e aprendizagem em matemática de jovens com transtorno do espectro autista. O estudo encontra-se em fase de pesquisa e análise dos fatores mais relevantes acerca das características do sujeito autista, através de entrevistas com profissionais da área, educadores, associações e os próprios sujeitos da pesquisa. O próximo passo se estabelecerá com a identificação das ferramentas mais adequadas e criação dos itens propostos.*

1. Introdução

O direito do aluno com necessidades educativas especiais e de todos os cidadãos à educação é um direito constitucional. A garantia de uma educação de qualidade para todos implica, dentre outros fatores, um redimensionamento da escola no que consiste não somente na aceitação, mas também na valorização das diferenças. Esta valorização se efetua pelo resgate dos valores culturais, os que fortalecem identidade individual e coletiva, bem como pelo respeito ao ato de aprender e de construir [Jacomeli 2017].

No atual contexto social a inclusão tornou-se imprescindível, e necessária de ser estudada e trabalhada dentro e fora das instituições de ensino. Sendo assim, este artigo tem como objetivo apresentar as ações desenvolvidas a partir de um projeto de pesquisa que possui como proposta encontrar caminhos para a utilização de ferramentas tecnológicas capazes de contribuir com processo de ensino e aprendizagem da matemática para alunos com transtorno do espectro autista, possibilitando a promoção

de aprendizagens significativas para um maior número possível de pessoas no ambiente escolar.

Quanto ao aprendizado da matemática e das ferramentas tecnológicas mais adequadas, estão sendo realizados estudos, para que a criação de jogos e materiais didáticos se torne passível de contribuição com o aprendizado, inclusão e a integração de crianças autistas no ambiente educacional. O conjunto desses dados, associados à fundamentação teórica permite reflexões e análises das percepções, e ações a serem assumidas, apropriando-se das dificuldades, barreiras, trabalhos bem-sucedidos, e desenvolvidos pelas escolas que possuem alunos portadores de alguma necessidade específica.

2. Contextualização

Diante dos problemas e dificuldades enfrentados ao longo do processo de ensino e aprendizagem os educadores sentem, cada vez mais, à necessidade de recorrer a ferramentas capazes de auxiliar neste processo. Nesse sentido, torna-se urgente buscar aporte das tecnologias da informação, as quais oferecem subsídios capazes de suprir tais carências. Conforme destaca [Jucá 2006], por muitos anos o quadro e o giz foram utilizados como as principais ferramentas de ensino na mediação pedagógica, porém, nas últimas décadas a difusão da tecnologia vem se propagando e tomando conta das instâncias educacionais. Foi a partir da união da tecnologia com os meios de comunicação que ocorreu a revolução da educação, possibilitando novas experiências de aprendizado através da utilização de softwares específicos trabalhados no contexto de ensino e aprendizagem, os quais são denominados softwares educacionais.

Neste contexto [Morellato et al. 2006] defendem que a utilização da informática na educação se apresenta como uma importante ferramenta no processo de aprendizagem assumindo diversos significados. Desta forma, não basta inserir hardwares e softwares no ambiente educacional, é de suma importância que a escola reflita acerca de sua utilização e na promoção significativa de aprendizagem de modo que o sujeito seja capaz de desenvolver e executar algo de forma que a construção do conhecimento ocorra através da resolução de problemas e da comunicação.

Na verdade, o educador desempenha um papel fundamental neste processo de forma que se faz necessário adicionar novas exigências em seu perfil, a fim de atender tais mudanças, como: saber lidar com os ritmos individuais dos alunos, se apropriar de novas técnicas para a produção de materiais didáticos através dos meios eletrônicos, diferente daqueles do ensino tradicional, manejando de forma criativa as novas tecnologias [Jucá 2016]. Há a necessidade de mudanças na postura no processo de ensino e aprendizagem de acordo com a necessidade de cada indivíduo, com isso buscando novas abordagens na prática pedagógica, entre elas a utilização de recursos da informática, possibilitando a maior participação dos alunos em geral. Afirma-se também que o ambiente de aprendizagem baseado nas tecnologias da informação e comunicação proporcionam atividades com propósitos educacionais favorecendo a construção do conhecimento e proporcionando ao aluno novas experiências.

Nesta perspectiva, legitima-se o desenvolvimento desse projeto de pesquisa, pois há uma intencionalidade em proporcionar ao aluno novas experiências de ensino e aprendizagem e também promover a inclusão de jovens no ambiente educacional, diante do reconhecimento da importância na utilização da tecnologia nesse processo,

trabalhando com o desenvolvimento jogos e materiais didáticos voltados para indivíduos com transtorno do espectro autista.

De acordo com [Bosa 2016] o autismo pode ser classificado como um transtorno invasivo do desenvolvimento e abarca algumas dificuldades ao longo da vida do portador afetando as habilidades sociais e comunicativas além de comportamento e interesses limitados e repetitivo. De forma geral, a maioria dos jovens autistas apresentam dificuldades de compreensão de linguagem abstrata ou dificuldade de lidar com sequências complexas de instruções que necessitam ser decompostas em unidades menores. Sendo assim, para auxiliar no processo de inclusão e aprendizagem dos indivíduos autistas, é comum a utilização de softwares e hardwares para facilitar a assimilação do conhecimento, apesar de não haver grande quantidade softwares apropriados para o grupo em questão, de forma que atenda às necessidades baseando nas características do espectro autista. Contudo, nos últimos anos têm sido comprovada a eficiência da utilização de softwares e hardwares assistivos no desenvolvimento cognitivo e melhoria de habilidades de jovens autistas [Souza et. al. 2016].

3. Metodologia

O desenvolvimento do projeto foi baseado inicialmente em referenciais bibliográficos, e após, submetido ao comitê de ética, para que se tornasse possível a continuidade da pesquisa.

No que se refere às entrevistas com pessoas especializadas, foi estabelecida a metodologia de entrevista semiestruturada, a qual compreende um roteiro com perguntas fechadas e abertas, permitindo maior flexibilidade nas conversas e para o entendimento questões trazidas pelo interlocutor. Esse modelo favorece a comunicação entre entrevistador e entrevistado possibilitando aprofundar as reflexões em torno de determinado tema [MINAYO 2010]. Os participantes das entrevistas, já atuam em uma perspectiva de inclusão, profissionais da educação e gestores, articulados com o uso da tecnologia no ensino e aprendizagem de matemática, com intuito de conhecer a realidade e as necessidades no processo de ensinar e aprender do sujeito com autismo. As instituições visitadas e entrevistadas no primeiro momento foram: Associação de pais e amigos do autista e centro de atenção psicossocial infância e adolescência (CAPSI II).

4. Resultados e Discussão

O contato inicial se estabeleceu com um profissional fisioterapeuta com estudos sobre o autismo. A entrevista possibilitou expandir os conhecimentos sobre as principais características dos jovens autistas, possibilitando uma reflexão mais aprofundada e norteando os passos a serem traçados para o desenvolvimento do projeto.

Outro encontro que merece destaque foi na instituição CAPSI II, de forma que no primeiro contato houve a possibilidade de participar de uma reunião com a coordenadora e mais cinco psicólogas que atendem crianças com autismo, objetivando expor o projeto em desenvolvimento e conhecer mais das características do público-alvo deste estudo. As psicólogas relataram os trabalhos e as atividades que realizam com as crianças e orientaram quanto ao nível de jogo a ser implementado, destacando que o mais adequado para se trabalhar matemática é com as etapas iniciais como por exemplo: as quatro operações básicas. Foi agendado, também, um encontro no laboratório de

informática da instituição, com crianças previamente selecionadas pelas psicólogas para mostrar alguns softwares existentes voltados ao ensino da matemática com a finalidade de analisar o comportamento e a aceitação das crianças quanto a aplicabilidade de softwares de jogos.

5. Considerações finais

A partir do desenvolvimento do presente projeto espera-se como resultado a efetiva melhoria no processo de ensino e aprendizagem em matemática, através de jogos e materiais didáticos desenvolvidos com o auxílio de ferramentas tecnológicas, tendo como foco alunos com transtorno do espectro autista. Acredita-se que promover a inclusão com o apoio de softwares que contemplam jogos e materiais didáticos se apresenta como uma relevante contribuição para o campo da educação. Espera-se também revelar o potencial das tecnologias no cotidiano das instituições de ensino, como um recurso pedagógico fundamental, merecedores de maior reconhecimento, rompendo com as metodologias tradicionais e sensibilizando profissionais envolvidos no campo da educação, especialmente os que atuam com pessoas que possuem necessidades educacionais diferenciadas.

Atualmente o projeto encontra-se na fase de investigação, realizando entrevistas com profissionais das áreas relacionadas, associações de pais e com os indivíduos foco deste estudo, visando identificar as necessidades de cada um, seus gostos e peculiaridades, permitindo assim, avançar para as próximas etapas, que se estabelece na seleção e construção de jogos e materiais didáticos com o auxílio de softwares e ferramentas tecnológicas, a fim de contribuir para o processo de ensino e aprendizagem da matemática, componente curricular obrigatório na educação básica brasileira.

Referencias

- Bosa, C. A. (2016) “Autismo: Intervenções Psicoeducacionais”, <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-44462006000500007>, Março.
- Jacomeli, R. B. (2017) “A Inclusão de Alunos com Necessidades Especiais no Ensino Regular”, <http://meuartigo.brasilecola.uol.com.br/educacao/a-inclusao-alunos-com-necessidades-especiais-no-ensino-regular.htm>”, Março
- Jucá, S. C. S. (2016) “Relevância do Software Educativo na Educação Profissional”, http://cienciasecognicao.org/pdf/v08/cec_vol_8_m32689.pdf, Março.
- Minayo, M. C. S. (2010) “O desafio do conhecimento: pesquisa qualitativa em saúde.” 12. ed. São Paulo: Hucitec.
- Morellato, C. et al (2016) “Softwares Educacionais e a Educação Especial: Refletindo sobre aspectos pedagógicos”, <http://seer.ufrgs.br/index.php/renote/article/view/13887/7803>, Março.
- Sousa, F. R. M.et. al. (2016) “WorldTour: Software para Suporte no Ensino para Crianças Autistas”, <http://www.br-ie.org/pub/index.php/sbie/article/view/1806/1567>, Março.
- Zulian, M. S. F, Soraria N. (2016) “Formação de Professores na Educação Inclusiva: Aprendendo a Viver, Criar, Pensar e Ensinar de Outro Modo”, <http://coralx.ufsm.br/revce/ceesp/2001/02/r5.html>, Março.

Desenvolvimento de jogos com uso de Pensamento Computacional e Aprendizagem Baseada em Projetos^{1*}

Jhoisnáyra V. R. de Almeida¹, Marcos Vitor C. B. Nunes¹, Francisco Marcelino A. Almeida¹

¹Labiras – Instituto Federal do Piauí (IFPI)
Caixa Postal 198 – 64002-370 – Teresina – PI – Brasil

jhoisnayra.almeida@ifpi.edu.br, marcosvitorcastelo@gmail.com,
francisco.marcelino@ifpi.edu.br

Abstract. *This article is an application of game development with Computational Thinking and Project Based Learning from creation of a game for Asteroids. In order to teach basic programming concepts, encourage the development of games and entry of students in the areas of computing.*

Resumo. *Neste artigo é apresentado o uso de desenvolvimento de jogos com Pensamento Computacional e Aprendizagem Baseada em Projetos a partir da criação de um jogo semelhante ao Asteroids. Com objetivo de ensinar conceitos básicos de programação, incentivar desenvolvimento de jogos e o ingresso de estudantes nas áreas de computação.*

1. Introdução

O Pensamento Computacional é uma metodologia de resolução de problemas que dispõe de múltiplas características e requisitos que permitem aos alunos que o aderem ver uma relação entre diversos conteúdos acadêmicos. Entre os elementos que o pensamento computacional compreende, está inclusa segmentação de informações ou problemas em partes menores e administráveis, reconhecimento de padrões, identificação de fundamentos gerais que geram esses padrões e desenvolvimento de orientações passo a passo de como resolver impasses [Google 2017]. Dado que o pensamento computacional surgiu como um método de solucionar problemas, gerar sistemas e entender o comportamento humano que se constitui de conceitos primordiais da Ciência da Computação, sua finalidade para solução de problemas nas mais diversas áreas do conhecimento o torna uma competência fundamental para todas as pessoas, sendo assim, uma condição primária para a formação básica dos profissionais de todos os campos nos anos seguintes [Gomes 2013]. Uma outra metodologia educacional é a Aprendizagem Baseada em Projetos (PBL), que é um modelo de ensino que baseia-se em possibilitar que os alunos lidem com as obstáculos e as indagações do mundo atual que consideram interessantes determinando como abordá-los e, assim, agindo de modo cooperativo a fim de chegar em uma

solução [Bender 2015]. A inserção de conceitos de Computação na Educação Básica é necessária por ter cunho colateral aos demais âmbitos do conhecimento. Nota-se a relevância de se desenvolver desde cedo habilidades como o Pensamento Computacional. Em países da Europa e nos Estados Unidos já há introdução de um currículo mínimo de Computação, entretanto, no Brasil, a discussão ainda é inaugural [De França 2013], apesar do uso de computadores ter sido presente no processo de ensino-aprendizagem desde a sua invenção [Joly 2002].

Este artigo apresenta o ensino de criação de jogos usando as metodologias de Aprendizagem Baseada em Projetos e Pensamento Computacional.

2. Trabalho Proposto

Atualmente, jogos se sobressaem não somente como um instrumento de puro entretenimento, mas também como um significativo artifício de ensino-aprendizagem [Gurgel 2006], pois a criação dos mesmos, abrange conceitos de programação e requer uso de lógica, necessitando de pesquisa e estudo para sua realização. A proposta deste projeto consiste no uso de uma ferramenta de desenvolvimento de jogos para aprendizagem de conceitos básicos de programação utilizando Aprendizagem Baseada em Projetos e Pensamento Computacional. Utiliza-se neste projeto o Game Maker Studio como mecanismo de desenvolvimento de jogos por ser uma ferramenta livre e acessível de criação de jogos 2D. Para aplicação das metodologias de PBL (Aprendizagem Baseada em Projetos) e CT (Pensamento Computacional), minicursos seriam ministrados por tutores que auxiliam os estudantes com uso de um material de aula que abrange todo o conteúdo para criação de um jogo.

Como consequência do minicurso apresentado, os alunos adquirem entendimento de conceitos básicos de programação, uma vez que o mini-curso abrange diversos conceitos de lógica e algumas sintaxes semelhantes à Linguagem C.

Após a criação deste primeiro projeto, o aluno pode despertar o interesse pela área e ingressar na mesma, evoluindo, assim, o que foi estimulado por este projeto.

3. Metodologia

Para aplicação do projeto, foi utilizada a ferramenta de criação de jogos 2D, Game Maker Studio, que trabalha com a linguagem de programação denominada *GML (Game Maker Language)* e usa mecanismos de fácil procedimento para desempenho.

O projeto desenvolvido pelos alunos durante o minicurso foi um jogo semelhante ao *Asteroids*, criado em 1979 pela Atari. A escolha desse jogo se deu em razão da facilidade na sua criação e sua abrangência de assuntos na elaboração.

O minicurso tem duração de duas tardes seguidas, dividindo o conteúdo ministrado em duas partes apresentadas em um material didático de aula,

acompanhado de monitores para auxiliar os alunos em impasses e ao final, os alunos conseguem obter um exemplo de jogo de *Asteroids* simples, apresentado na Figura 1.

O conteúdo abordado no minicurso abrange conceitos de criação de jogos, tais como: criação, divisão e organização de componentes do jogo (salas, sons, sprites, objetos e outros), configuração ou animação destes componentes, e sobretudo, programação dos mesmos, sistemas de vida e pontuação. O conteúdo explanado também contém concepções simples de programação, como: declaração de variáveis, uso de estamentos (if, else, while e outros), funções, herança e a lógica para desempenho do programa.

4. Resultados

A metodologia foi aplicada com um grupo de pessoas que foram inscritas previamente para participar do minicurso gratuito e aberto ao público no Instituto Federal, como mostra a figura 1. Essa aula foi realizada como preparação para a *Global Game Jam*, evento mundial no qual quaisquer pessoas interessadas se reúnem e formam grupos para criação de um jogo em 48 horas de forma colaborativa. O grupo de tutores e monitores foi composto de alunos do ensino médio do Instituto Federal, que ministraram a aula para o conjunto de participantes dos mais diversos níveis de estudo e faixa etária, entre eles alunos do ensino médio, alunos do ensino superior, professores e mestrandos. Com a ajuda dos monitores, os participantes tiveram seu primeiro contato com criação de jogos e desenvolveram, mesmo sem nenhum conhecimento prévio, o jogo de *Asteroids* completo.



Figure 1. Aplicação do minicurso de jogos. Fonte: Autoria própria

O minicurso foi ministrado 2 dias antes do evento *Global Game Jam*, sediado no Instituto Federal do Piauí, os participantes do minicurso também se inscreveram no evento e durante ele desenvolveram jogos a partir do conhecimento adquirido [Labiras 2017]. Os jogos desenvolvidos foram submetidos e publicados no site oficial do evento [Global Game Jam 2017], nesse mesmo evento, em 2015, foi iniciado o *Crown Brawl*, jogo desenvolvido por alunos do IFPI e aceito na *Imagine Cup 2017*, campeonato mundial de tecnologia promovido anualmente pela Microsoft [IFPI 2017].

5. Conclusão

Como aspecto positivo dos resultados obtidos, se destaca o uso de recursos simples de produção e ensino. No entanto, a aplicação do minicurso foi limitada a poucos eventos e instituições, portanto, futuramente, espera-se levar este minicurso à outros lugares, em outras instituições (com foco nas instituições públicas e com acesso à laboratórios de informática), para que seja propagada a criação de jogos 2D acessível para todos. Pretende-se também criar uma apostila sobre criação de jogos, onde os alunos possam aprender de forma autônoma e, posteriormente, desenvolver projetos de autoria própria.

6. Referências

- Ventura, Matthew et al. Development of a Video Game that Teaches the fundamentals of Computer Programming. In: SoutheastCon 2015. IEEE, 2015. p. 1-5.
- Joly, Maria C. Rodrigues Azevedo. Tecnologia No Ensino: Implicações Para a Casa do Psicólogo, 2002.
- De França, Rozelma Soares; DO AMARAL, Haroldo José Costa. Proposta metodológica de ensino e avaliação para o desenvolvimento do pensamento computacional com o uso do scratch. In: Anais do Workshop de Informática na Escola. 2013. p. 179.
- Google. 2017. Pensamento Computacional para Educadores . [ONLINE] Disponível em: <https://computationalthinkingcourse.withgoogle.com/unit>. [Acessado em 10 de março de 2017].
- Gomes, T.; Melo, J. O Pensamento Computacional no Ensino Médio: Uma Abordagem Blended-Learning. In: Anais do XXI Workshop sobre Educação em Computação—XXXIII Congresso da Sociedade Brasileira de Computação. Maceió, AL—Brasil. 2013.
- Bender, Willian N. Aprendizagem baseada em projetos: educação diferenciada para o século XXI. Penso Editora, 2015.
- Gurgel, Ivannoska et al. A importância de avaliar a usabilidade dos jogos: A experiência do virtual team. Anais do SBGames, Recife, 2006.0
- Global Game Jam. 2017. *THE Game Jam Games*. [ONLINE] Disponível em: <http://globalgamejam.org/2017/jam-sites/game-jam/games>. [Acessado em 26 de Abril de 2017].
- Labiras. 2017. *GLOBAL GAME JAM*. [ONLINE] Disponível em: <http://labiras.cc/ggj2017/>. [Acessado em 26 de maio de 2017].
- IFPI. 2017. *Jogo criado no IFPI é finalista em competição de tecnologia da Microsoft*. [ONLINE] Disponível em: <http://libra.ifpi.edu.br/noticias/jogo-criado-no-ifpi-e-finalista-em-competicao-de-tecnologia-da-microsoft/view>. [Acessado em 26 de maio de 2017].

Algoritmo Genético aplicado ao problema de alocação/localização de facilidades.

Tarcísio Barroso Marques¹, Otho Garcia da Silva Neto¹, Daniel da Silva Diniz¹

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense (IF Fluminense)

Campus Itaperuna – 28.300-000 – Itaperuna – RJ – Brasil

tarcisio.marques@iff.edu.br, othogar@gmail.com, danielsdnz@gmail.com

Abstract. *This article presents the Genetic Algorithm (GA) applied to the problem of allocation / location of health center. The goal is a minimum number of health posts covering a greater quantity of demand points by positioning them geographically at strategic points. In this problem, the number of facilities is not fixed, and it is up to GA to find a number of health centers that meet the established criteria. The possibility of filament generation during times of movement at health posts is disregarded. The Genetic Algorithm proved to be very effective in computational tests in several small instances of large problems, with a rapid evolution of the population.*

Resumo. *Este artigo apresenta o Algoritmo Genético (AG) aplicado ao problema de alocação/localização de postos de saúde. O objetivo é alocar um número mínimo de postos de saúde cobrindo a maior quantidade de pontos de demanda posicionando-os geograficamente em pontos estratégicos. Neste problema, o número de facilidades não é fixado, cabendo ao AG encontrar um número de postos de saúde que atenda aos critérios estabelecidos. São desconsideradas a possível geração de filas em dias de mais movimento nos postos de saúde. O Algoritmo Genético mostrou-se muito eficaz em testes computacionais realizados nas diversas instâncias de problemas de pequeno à grande porte, com uma rápida evolução da população.*

1. Introdução

Decisões sobre aonde alocar ou instalar facilidades considerando as necessidades do usuário, são entendidas como problemas de localização de facilidades, onde, “facilidades” se entende por postos de saúde, depósitos, escolas, fábricas etc., enquanto clientes refere-se a bairros, unidades de vendas, pacientes etc. O processo decisório de alocação é algo complexo de ser analisado, principalmente quando envolve um grande número de possibilidades, onde às vezes se faz necessário efetuar cálculos enormes que resultam em números exorbitantes, sendo necessário anos para efetuar tais cálculos. “A maioria dos Problemas de Localização de Facilidades é considerada de difícil solução, pertencendo alguns deles à classe NP-difícil.” (LOUREIRO, 2012, 1301).

Os problemas de localização são de natureza combinatória, pois consistem em selecionar de um conjunto discreto e finito de dados o melhor subconjunto que satisfaça determinados critérios.”(Arroyo, 2006, 1346) Este problema é chamado de p-medianas. “O problema das p-medianas consiste em determinar a localização, em uma rede, de p

facilidades (medianas) de um conjunto pré-definido n ($n > p$), minimizando-se a soma de todas as distâncias de cada ponto de demanda à sua mediana mais próxima.”(Rosário, 2002, 3).

A pesquisa apresentada neste artigo fomentada pelo Instituto Federal Fluminense Campus Itaperuna-RJ, apresenta a proposta de uma heurística baseada em algoritmo genético, que visa definir qual a quantidade e o melhor posicionamento das facilidades. Como parâmetros iniciais são definidas apenas a quantidade máxima de facilidades que poderão ser utilizadas com o peso necessário, sendo que, através do peso o algoritmo irá definir a quantidade de facilidades que melhor o soluciona posicionando-os da melhor forma possível.

2. Definição do Problema

Nesta seção apresenta-se a definição do problema de localização de facilidades, abordado neste trabalho.

Notações:

$P = \{1, \dots, n\}$: conjunto de pontos de demanda (um ponto de demanda pode ser um bairro ou um quarteirão de um bairro por exemplo);

$C = \{1, \dots, m\}$: conjunto de pontos potenciais onde podem ser alocadas as facilidades (se no ponto $j \in C$ é alocada uma facilidade, então é dito que a facilidade j é aberta, caso contrário a facilidade j está fechada);

$A = \{a_1, \dots, a_k \mid m \geq k \in C\}$: conjunto de facilidades abertas.

$B = \{b_1, \dots, b_y \mid m \geq y \in C\}$: conjunto de facilidades fechadas.

c_j : variável de decisão $\in \{0, 1\}$. Se a facilidade j é aberta tem-se $a_j = 1$, caso contrário $a_j = 0$.

d_{ij} : distância (euclidiana) do ponto $i \in P$ com coordenadas (x_i, y_i) ao ponto $j \in A$ com coordenadas (x_j, y_j) ;

S : constante de normalização que irá privilegiar mais ou menos o uso das facilidades abertas, de acordo com o seu valor estipulado, devendo ser ajustada para cada tipo de problema.

Formulação:

$$\text{Minimizar } f(x) = \sum_{i=1}^n \min\{d_{ij} \mid j \in A\} + S \cdot k \mid m \geq k \in C$$

A função objetivo em $f: \Omega \in \mathbb{R}$ (Ω = conjunto das soluções viáveis, \mathbb{R} = conjunto dos números reais) busca aproximar os pontos de demanda às facilidades a serem abertas atendendo um ponto de demanda $p_i \in P$ pela facilidade $a_j \in A$ que esteja mais próxima. A função objetivo também será melhor à medida que menos facilidades são usadas, indicando uma economia dos gastos com a abertura dos postos de saúde.

3. O Algoritmo Genético aplicado ao problema de alocação de facilidades.

O Algoritmo Genético é uma das áreas da Inteligência artificial, sendo que seus métodos foram inspirados na teoria da evolução definida por Charles Darwin. “Os melhores indivíduos de um algoritmo genético tendem a sobreviver por mais tempo, e assim transportam o seu material genético às novas soluções que serão geradas no futuro.”(Barsanulfo, Allan, et al. 2016, 27). Com isso há uma seleção de dois indivíduos

da população, causando maior probabilidade dos melhores indivíduos serem escolhidos, a próxima etapa é efetuar o cruzamento combinando uma parte do conteúdo de cada pai, gerando assim um filho, que em sua composição possui o conteúdo dos pais mesclados. Uma mutação é realizada onde se altera uma pequena porcentagem do conteúdo desse filho.

“A seleção, o cruzamento e a mutação são operadores genéticos que transformam a população através de sucessivas gerações. Após a aplicação desses operadores, ao longo das gerações, espera-se que os indivíduos da população convirjam para uma boa solução, não necessariamente a ótima.”(SILVA, Anderson Freitas, 2006, 2).

4. Testes Computacionais.

Os testes computacionais consistiram na elaboração de instâncias de problemas de pequeno à grande porte, sendo comparados o valor final da função objetivo apresentada pelo Algoritmo Genético, com o valor final da função objetivo para o mesmo problema, abordado pela Busca Local com a permuta All Pairs, que consiste na busca de melhores soluções através da troca de pares, ou conjuntos de valores que trocam suas posições, gerando uma nova solução. A Tabela 1 exhibe os testes realizados para n pontos de demanda e m locais candidatos à instalação dos k postos de saúde, locados pelo problema. Em todas as instâncias foi adotada uma população contendo 500 indivíduos.

Tabela 1. Instâncias de problemas aleatórios

Nº	Problema n_m_k	$f(x)$ Algor. Genético	$f(x)$ Busca Local	Nº	Problema n_m_k	$f(x)$ Algor. Genético	$f(x)$ Busca Local
1	10_10_1	13157	13157	5	300_300_5	95481	97858
2	20_20_1	15790	16850	6	400_400_6	104875	108954
3	40_40_1	20999	20999	7	700_700_6	158698	172462
4	200_200_3	64162	67458	8	1000_1000_7	208463	210240

Comparando-se com a Busca Local, pode-se observar na Tabela 1 que o Algoritmo Genético obteve um melhor desempenho em 75% das instâncias de problemas analisadas, comprovando a sua eficiência.

A solução gráfica da instância de problema 6 está representada pela Figura 1 onde são plotados à esquerda o resultado obtido pelo Algoritmo Genético e à direita a solução encontrada pela Busca Local.

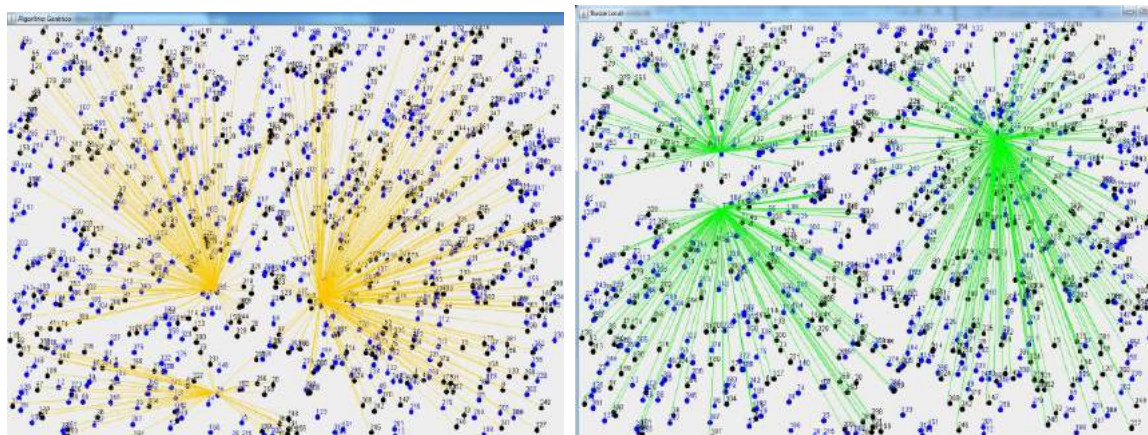


Figura 1. Representação gráfica da instância de problema 6.

Pode-se observar na Figura 1 que ambas as soluções utilizaram três facilidades. O Algoritmo Genético obteve um desempenho melhor porque aproximou mais as facilidades aos pontos de demanda, obtendo de uma forma geral, um menor somatório das distâncias envolvidas.

5. Conclusão

Neste trabalho procurou-se local um número desconhecido de facilidades posicionando-as (alocando) de tal forma a minimizar ao máximo as distâncias envolvidas entre as facilidades abertas e os pontos de demanda atendidos.

Esta solução objetiva auxiliar a tomada de decisões, quando por exemplo é conhecido o custo da abertura de uma facilidade (custo para abrir e manter um posto de saúde por exemplo) mas não é sabido quantos postos devem ser abertos e onde eles devem ser posicionados.

De acordo com as instâncias de problemas gerados, o Algoritmo Genético apresentou melhores resultados em praticamente todos os problemas. Devido a complexidade do modelo tratado, uma vez que a população do Algoritmo Genético apresentou indivíduos contendo um número diferente de genes, observou-se um tempo computacional requerido pelo Algoritmo Genético em média 65% superior ao tempo gasto pela busca local, considerando as mesmas instâncias de problemas e critérios de parada.

Referências

- Silva, Anderson Freitas, and AC De Oliveira. "Algoritmos genéticos: alguns experimentos com os operadores de cruzamento ("Crossover") para o problema do caixeiro viajante assimétrico." *Anais do XXVI ENEGEP–Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Fortaleza* (2006).
- Barsanulfo, Allan, et al. "Escalonamento De Horários Acadêmicos Utilizando Algoritmos Genéticos." *Jornal De Engenharia, Tecnologia E Meio Ambiente-Jetma* 1.1 (2016): 27-31.
- Arroyo, José Elias Cláudio, and Tarcísio Barroso Marques. "Heurística Grasp Aplicado ao Problema de Alocação de Antenas de Transmissão." *XXXVIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Goiânia-GO* (2006).
- Loureiro, Sérgio Adriano, Christiane Lima Barbosa, and Orlando Fontes Lima Jr. "Procedimento para localização e alocação de vagas de carga e descarga em centros urbanos." *Anais do XXVI ANPET* (2012).
- do Rosário, Raimundo Ronilson Leal, Celso Carnieri, and Maria Teresinha Arns Steiner. "Proposta de solução para o problema das p-medianas na localização de unidades de saúde 24 horas." *XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Curitiba* (2002).

Desenvolvimento de Tecnologias Assistivas Para Imersão de Deficientes Visuais em Ambientes Educacionais

Gbson R. Scantlebury¹, Leonardo P. Vieira¹, Emmerson S. R. Silva^{1,2}, Jucimar B. Souza¹

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas – Campus Manaus Centro (IFAM-CMC) – Manaus – AM - Brasil

²Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) – Curitiba – PR - Brasil

scantleburyrodrigues@gmail.com, leonardo.vieira.lpv2@gmail.com,
emmsr2004@gmail.com, jucibs@gmail.com

Abstract. *This paper implements low-cost residential automation resource to assist the visually impaired based on the Arduino platform, and with implementation based on assistive technology concepts to enable the inclusion of the visually impaired in the academic environment. Context-sensitive automation increases the degree of accessibility of an environment by allowing it to be a proactive agent and to act intelligently, anticipating the various situations with solutions that benefit its users. The developed system allows the user to use the classroom, through local and remote communication interfaces, based on Arduino, enabling it to execute in a pervasive way.*

Resumo. *Este artigo implementa recursos de automação residencial de baixo custo para auxiliar deficientes visuais, baseados na plataforma Arduino, e com implementação baseada nos conceitos das tecnologias assistivas de modo a possibilitar a inclusão do deficiente visual no meio acadêmico. A automação sensível ao contexto aumenta o grau de acessibilidade de um ambiente, pois o permite que seja um agente proativo e aja de maneira inteligente, se antecipando as diversas situações com soluções que beneficiam seus usuários. O sistema desenvolvido permite que o usuário utilize a sala de aula, por meio de interfaces de comunicação locais e remotas, baseado em Arduino, possibilitando que este execute de modo pervasivo.*

1. Introdução

Tecnologia Assistiva é um termo utilizado para identificar os recursos e serviços que contribuem para proporcionar ou ampliar habilidades funcionais de pessoas com deficiência e consequentemente promover independência e inclusão. Dessa forma, torna-se possível a integração e o melhor aproveitamento do aluno com deficiência em sala de aula, uma vez que o mesmo não pode ser segregado ou afastado do convívio dos outros colegas levando em consideração o conceito de inclusão (COOK, 2005).

Atualmente o Brasil dispõe de diversas normas no que se diz respeito à acessibilidade, sendo uma delas a NBR 9050 (ABNT, 2004), que define Acessibilidade como "possibilidade e a condição de utilizar, com segurança e autonomia, os edifícios, o espaço, o mobiliário e os equipamentos urbanos", além da Lei 10.098 (BRASIL, 2000), que estabelece as normas gerais e critérios básicos para promoção da acessibilidade às pessoas com deficiência.

A Automação Inclusiva tem como foco a acessibilidade, segurança, saúde e bem-estar das pessoas que residem ou frequentam determinado ambiente (GUEDES et al, 2012). Apesar de proporcionar muitos benefícios aos seus usuários, recursos de automação residencial possuem custo de implantação muito elevado, e um dos motivos desse alto custo é a necessidade de *hardwares* específicos para o controle residencial (MOZER, 2005). Para diminuir os valores de implantação de recursos de automação, surge a possibilidade de utilizar uma categoria de *hardware* recente no mundo da computação denominada *open-source hardware* (OSH), ou *hardware* livre.

O presente trabalho tem por objetivo utilizar a domótica (TONIDANDEL, 2004) com o fim de proporcionar acessibilidade e inclusão aos deficientes visuais, por meio de um sistema simplificado, composto por *hardware* de baixo custo, que atenda às necessidades de seus usuários.

2. Proposta

Com o objetivo de promover acessibilidade, inclusão e independência aos alunos com deficiência visual, tem-se como proposta a construção de uma sala de aula pensada no princípio do Desenho Universal (SASSAKI, 1997), na qual todos os alunos serão contemplados com um ambiente acadêmico inteligente.

A sala de aula contará com recursos de automação residencial, que tornarão automáticas atividades cotidianas, como: abrir/fechar portas e janelas; controle de climatização; ligar/desligar luzes com base nas informações recebidas pelo sensor de luminosidade; computadores e *hardwares* externos controlados por voz. Na Figura 1, representamos esquematicamente a automação das portas (1), iluminação (2) e ar condicionado (3).

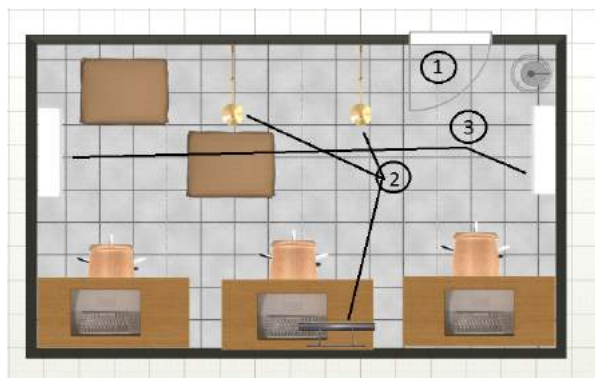


Figura 1. Projeto do Sistema de automação da sala de aula

O sistema contará também com dispositivo de reconhecimento de voz, que permitirá ao usuário que ligue ou desligue um computador mediante a pronúncia de um comando. O computador, ao ser iniciado pelo usuário, possuirá um *software* de acessibilidade para deficientes visuais, para que o aluno possa receber por meio do *software*, a descrição audível de todos os sistemas virtuais que possa vir a utilizar.

Para a maioria das pessoas, este tipo de tecnologia pode ser considerado meramente um artigo de conforto, mas para usuários com necessidades especiais, o comando de voz pode facilitar a execução de atividades rotineiras (PERICO, SHINOHARA, SARMENTO, 2014), por exemplo.

3. Aplicação

O sistema é aplicado na plataforma Arduino, mais especificamente no Arduino Uno R3, que oferece uma interface de *hardware* proporcionando todo o circuito necessário para funcionamento do micro controlador e uma interface e ambiente de desenvolvimento em *software* para programação. Por ser uma plataforma de código aberto (*open-source*) há uma grande comunidade de desenvolvedores do mundo inteiro que disponibilizam bibliotecas de código para ser aplicado nessas plataformas, com funções específicas, como, por exemplo, o controle de servo motores ou leitura de sensores analógicos. (CARVALHO, 2011, p. 34).

As imagens a seguir (Figura 2), apresentam os testes feitos com a maquete do ambiente que contém o sistema:

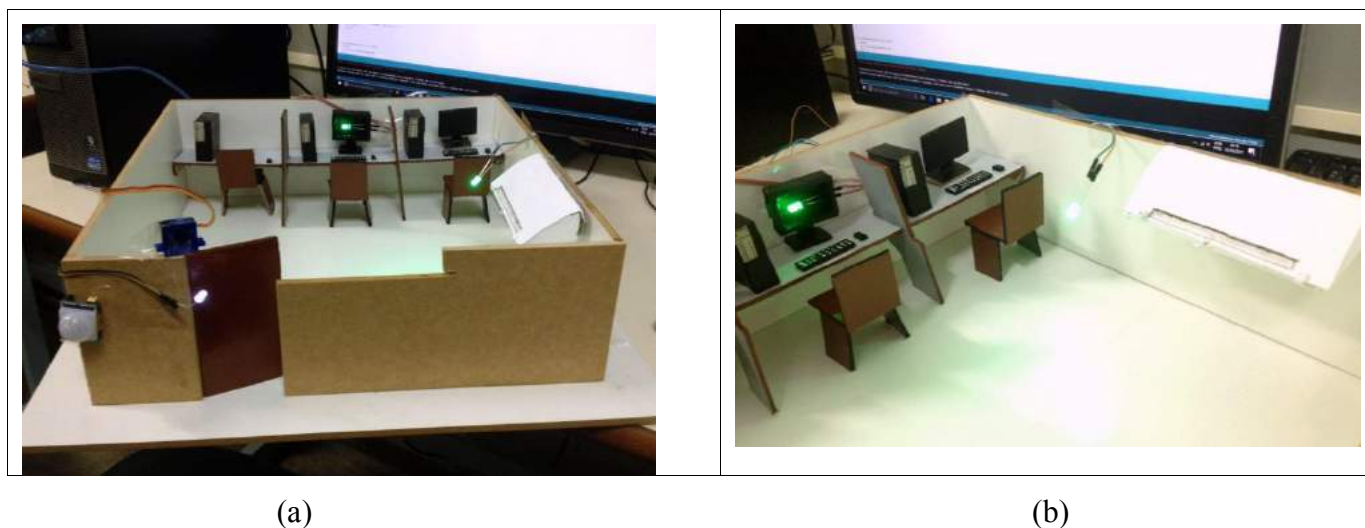


Figura 2. - (a) Testes com a porta da sala de aula. (b) Teste com o sistema de controle de temperatura e computadores.

A Figura 2 apresenta a maquete com os componentes ainda em fase de calibração dos sensores, que está sendo utilizada para os ensaios iniciais. O sistema instalado na maquete funciona da seguinte forma: o sensor de presença PIR, localizado ao lado da porta (figura 2 (a)) irá detectar a presença do usuário em frente à sala, e, em seguida, ativar o Servo Motor apensado à porta, que irá abri-la possibilitando a entrada do usuário, e em seguida, fechá-la.

É também utilizado o Sensor de Luminosidade LDR, que é responsável pelo controle de iluminação, variando sua resistência de acordo com a intensidade da luz presente no ambiente, ligando ou desligando o LED (diodo emissor de luz) que representa a iluminação de acordo com a necessidade. De forma semelhante funciona o controle do ar condicionado, que utiliza o Sensor de Temperatura DHT11 para verificar a temperatura, e de acordo com as necessidades do ambiente, liga ou desliga o LED que representa o ar condicionado. O LED que nas imagens da maquete representa o computador é ligado por meio de um botão localizado no *proto-board* do sistema, mas posteriormente será ativado por meio de um sensor de reconhecimento de voz.

4. Trabalhos Futuros

As próximas etapas do projeto são integrar ao sistema de automação, recursos relacionados a emergência, como no caso de incêndios, para que o deficiente visual possa ser guiado para fora do ambiente em segurança, por meio de recursos sonoros.

Têm-se também como próximos passos, a implementação do sistema em um ambiente real, para que possa ser avaliado por deficientes visuais, e aprimorado de acordo com as necessidades que surgirem.

5. Considerações Finais

O sistema em desenvolvimento tem como objetivo auxiliar alunos com deficiência visual, possibilitando tanto a acessibilidade ao ambiente acadêmico, melhorando a execução de suas atividades cotidianas, quanto melhorando a acessibilidade aos sistemas que irão auxiliá-lo no processo de ensino-aprendizagem.

O ambiente que contém o sistema utiliza sensores e controladores que funcionam por meio de uma placa programável, que possibilita a automação do ambiente, proporcionando o fácil e instantâneo acesso às funcionalidades do ambiente propriamente dito.

Referências

- ABNT: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Norma NBR 9050, Acessibilidade a Edificações, Mobiliário, Espaços e Equipamentos Urbanos. Rio de Janeiro, 2004.
- BRASIL. Lei nº 10.098, de 19 de dezembro de 2000. Estabelece normas gerais e critérios básicos para a promoção da acessibilidade das pessoas com deficiência ou com mobilidade reduzida e dá outras providências. Brasília, DF, Congresso Nacional, 2000.
- CARVALHO, Mauricio Feo Pereira Rivello de. Automação e controle residencial via internet utilizando arduino. In: SEMANA DE EXTENSÃO, 1., Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: [online], 2011.
- COOK, A.M. & HUSSEY, S. M. (1995). Assistive Technologies: Principles and Practices. St. Louis, Missouri. Mosby - Year Book, Inc.
- GUEDES, Lucas et al. O papel social da automação: automação inclusiva e mais sustentável. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS. Passo Fundo, 2012
- MOZER, M. The adaptive house. In: Intelligent Building Environments, 2005. The IEESeminar on (Ref. No. 2005/11059). [S.l.: s.n.], 2005. p. 39-79. ISSN 0537-9989.
- PERICO, A., SHINOHARA, C. S., SARMENTO, C. D. (2014). Sistema de Reconhecimento De Voz Para Automação De Uma Plataforma Elevatória.
- SASSAKI, Romeu Kazumi. Inclusão: construindo uma sociedade para todos. Vol. 174. Rio de Janeiro: Wva, 1997.
- TONIDANDEL, F., TAKIUCHI, M., MELO, E. (2004). Domótica Inteligente: Automação baseada em comportamento. Congresso Brasileiro de Automática.

Sistema de monitoramento de energia Elétrica através da tecnologia do arduino.

Alessandro Vareiro Do Amaral¹, Denis Henrique de Deus Lima¹, Sávio Vinícius Albieri Barone Cantero¹

¹ Instituto Federal de Mato Grosso do Sul (IFMS), Campus Ponta Porã – 79.900.000 – Sanga Puitã – MS – Brasil

{denis.lima,savio.cantero}@ifms.edu.br, alessamdrooo@gmail.com

Abstract. *The present work aims help people to have a better control of your expenses with electric power using a low-cost product. The energy consumption will be monitored in watts, to calculate how much energy is spending and what will be your value in the next reading. We will use the Arduino board, electronics prototyping platform, which will communicate with the sensor TCS-013-020 that is of type "non-invasive" and a web server where is stored the data and manage in real time which will contain information of value and rate of consumption of the next invoice. It is expected that there will be an awareness to reduce spending and preservation of nature.*

Resumo. *O presente trabalho tem com meta ajudar as pessoas ter um melhor controle de seus gastos com energia elétrica usando um produto de baixo custo. Será realizado o monitoramento do consumo de energia em watts para poder calcular quanto de energia está gastando e qual será o valor na próxima leitura do relógio. Será utilizada a placa Arduino, plataforma de prototipagem eletrônica, que se comunicará com o sensor não invasivo SCT-013-020 e um servidor web aonde será armazenada os dados e os gerenciará em tempo real que vai conter informações do valor e índice de consumo da próxima fatura. Espera-se que haja uma conscientização quanto à redução dos gastos e preservação da natureza.*

1. Introdução

O trabalho tem como objetivo desenvolver um sistema de monitoramento e cálculo do consumo de energia elétrica. O controle da energia gasta nas residências do Brasil vai afetar diretamente a economia, pois o consumidor terá consciência do que está consumindo e poderá reduzir os gastos. Além disso, ajuda na preservação da natureza, já que os recursos que utilizamos hoje em dia não são renováveis, um dia irão se esgotar [CUNHA, 2015].

Existem equipamentos no mercado que fazem o monitoramento e o cálculo de gastos com a energia elétrica, são conhecidos como Multimetro ou Analisador elétrico e seus preços variam entre dois mil a três mil reais. A diante pode ser ver a Tabela 1 a comparação das características de especificações dos equipamentos. [FLUKE, 2016].

Neste trabalho utilizaremos a placa Arduino, *open-source* de protótipos eletrônicos baseados em hardware, de fácil uso, destinado a qualquer pessoa interessada

em criar objetos ou ambientes. Serão conectados sensores não invasivos, ou seja, não necessita fazer nenhuma alteração na rede elétrica da residência.

A vantagem de se usar Arduino está no seu custo/benefício, por ser uma placa que possui vários recursos a um custo totalmente acessível [MCROBERTS, 2015].

2. Metodologia

Para o desenvolvimento do sistema de monitoramento, foram adquiridos os seguintes materiais: 1 Arduino UNO, 2 resistores de 10K Ω , 1 capacitor de 100 uF, 1 Display LCD 16x2, 1 Potenciômetro de 10K, 1 sensor SCT-013-020 e um Shield Wifi (ESP8266). Equipamentos estes exibidos na Figura 1.

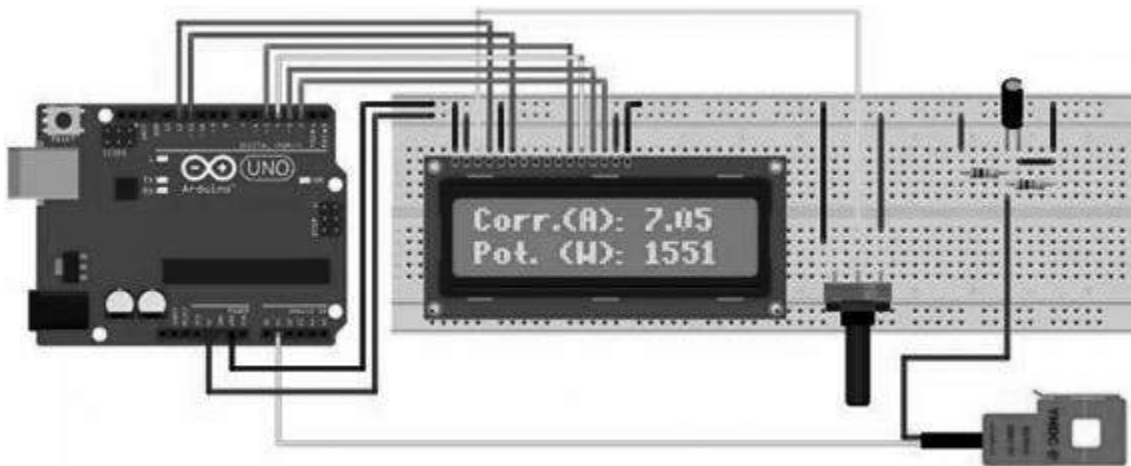


Figura 1 – Esquema de montagem do circuito do sistema.

O monitoramento da rede elétrica vai ser feito pela placa Arduino, para isso, o fio de energia – a ser monitorado – será envolvido de forma não invasiva pelo sensor SCT-013-020 que estará conectado esta placa.

Serão coletados dados como potência e intensidade e serão enviados utilizando o Wifi Shield-ESP8266 para a página via web, assim fazer monitoramento e coleta de dados em tempo real para ter uma melhor eficiência de fluxos de informações. E essas informações vai ser possível ser visualizada pelo usuário tanto em forma de valores estimando a conta da fatura de energia, como um gráfico com o índice de consumo por período que vai ser estipulado pelo o usuário. Esses dados visam promover tomadas de decisões para um melhor controle de gastos excessivos em paralelo à conscientização ambiental.

Para validação do protótipo titulado como EPA (*Electric Power Analyzer*), serão realizados testes em algumas redes domésticas. Após a validação, pretende-se implantar o sistema no mercado.

3.Considerações Finais

Esse sistema está sendo desenvolvido de forma modular para que novos componentes e outros sensores possam ser facilmente adicionados ao projeto, por exemplo: placa de rede e placa *bluetooth*.

Este trabalho apresentou a proposta de um sistema de monitoramento da rede elétrica residencial de baixo custo como se pode observar a diante na tabela 1 a comparação dos equipamentos:

Tabela 1 – Comparação das características de especificações e preços dos equipamentos.

	Electric power analyzer-EPA001	Multimedidor-Dmi T50t88es	Multimedidor- Kit Dmi T5 1000a
Especificações	Quantidade	Quantidade	Quantidade
Placa de Comunicação	Sim	Sim	Sim
Sensor de Corrente não invasivos 100A/50mA	Sim	Sim	Não
Sensor bipartidos não invasivos 1000/5A	Não	Não	Sim
Pinos Digitais	Sim- 14 portas	Não	Não
Entradas Digitais	Sim- 6 portas	Sim- 8 portas	Sim- 8 portas
Saídas Digitais	Sim-6 portas	Sim-8 portas	Sim-8 portas
Conexão com a Internet Via Wi-Fi	Sim	Não	Não
Conexão com a Internet Via Cabo Físico	Não	Sim	Sim
Fonte 12V 1ª	Sim	Sim	Sim
Sensor de Temperatura	Não	Sim	Sim
Sistema de Interface Web	Sim	Sim	Sim
Banco Da Dados em Nuvem	Sim	Não	Não
Banco De dados limitado de 8GB ou 32GB	Não	Sim	Sim
Acesso Remoto	Sim	Sim	Sim
Valor total	R\$200,00	R\$1900,00	R\$2200,00

Espera-se que com utilização do protótipo EPA haja um controle maior do consumo de energia elétrica por parte dos usuários, possibilitando uma maior economia doméstica, além de buscar a colaboração com a preservação do meio ambiente.

Referências

- Cunha, J. (2015). “Desperdício consome 10% da energia elétrica no país, diz associação”, <http://www1.folha.uol.com.br/mercado/2015/02/1586778-desperdicio-consome-10-da-energia-eletrica-no-pais-diz-associacao.shtml>, Fevereiro.
- Fluke. (2016). <http://www.fluke.com>, Fevereiro.
- Mcroberts, M. (2015). “Arduino Básico”. 2ª edição. São Paulo. Novatec.

Um Ambiente Virtual Aplicado ao Ensino e Pesquisa em Arquitetura e Organização de Computadores

Guilherme Esmeraldo¹, Edson Barbosa Lisboa²

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) –
Crato, CE – Brazil

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe (IFS) – Aracaju, SE –
Brazil

guilhermealvaro@ifce.edu.br, edson.barbosa@ifs.edu.br

Abstract. *Studies and research in architecture and computer organization has gained even more relevance due to the rapid technological evolution, which has made available a variety of increasingly complex computing platforms. The big challenge is to understand and master the peculiarities of new technologies. For this, the use of virtual tools have been increasingly stimulated. Thus the purpose of this work is to present an integrated environment for the design and simulation of computational platforms that can be easily configured and expandable, raising the level of abstraction and facilitating the understanding of the integration between hardware and software.*

Resumo. *O estudo e pesquisa em arquitetura e organização de computadores têm ganhado ainda mais relevância em função da rápida evolução tecnológica, que têm disponibilizado uma variedade de plataformas computacionais cada vez mais complexas. O grande desafio é entender e dominar as peculiaridades das novas tecnologias. Para isso, o uso de ferramentas virtuais têm sido cada vez mais estimulado. Assim o propósito desse trabalho é apresentar um ambiente integrado de concepção e simulação de plataformas computacionais que possam ser facilmente configuradas e expansíveis, elevando o nível de abstração e facilitando o entendimento da integração entre hardware e software.*

1. Introdução

O estudo e projeto integrado de hardware e software tem se tornado ainda mais relevante devido aos grandes avanços tecnológicos, que têm disseminado uma vasta quantidade de plataformas computacionais para atender diferentes requisitos tecnológicos, tais como computação paralela, sistemas embarcados, internet das coisas (IoT) e automação [Ecker, 2009] [Atzori, 2010]. Esse contexto implica em um grande desafio para o ensino e pesquisa em ambientes acadêmicos devido à complexidade inerente à alta escala de integração, o que dificulta a percepção de conceitos e funcionalidades presentes em arquiteturas e plataformas modernas.

Portanto, o uso de ambientes virtuais de simulação como abordagem de ensino e pesquisa tem sido fortemente recomendado, pois permitem simplificar e dinamizar a criação e a simulação de novos sistemas computacionais em cenários próximos aos reais. Assim, o objetivo desse trabalho é propor uma ferramenta de simulação para apoiar o projeto e a aprendizagem em arquitetura e organização de computadores. A ferramenta proposta, chamada de CompSim, suporta uma abordagem para projeto e

estudo integrado dos conceitos relacionados aos componentes de hardware, suas funções e interações em si, bem como sua programação em baixo nível.

2. Trabalhos Relacionados

Os ambientes de simulação como o HADES (*Hamburg Design System*) [Hendrich, 2002] e o DEEDS (*Digital Electronic Education Design Suite*) [Donzellini; Ponta, 2013] possibilitam o estudo desde portas lógicas a sistemas microprocessados completos, em diferentes níveis de abstração. No entanto, a configuração e parametrização de componentes específicos não é algo tão simples, devido à complexidade do ambiente proposto. Abordagens como CPUSim [Skrien, 2001] e SimuS [Silva; Borges, 2016] incluem interfaces gráficas que permitem a configuração e interação com os componentes de hardware e o ambiente de simulação, e focam essencialmente na exploração da programação em baixo nível. Esses simuladores, no entanto, por não incluírem suporte a alguns tipos de modelos de componentes ou ocultarem detalhes importantes para abstração da simulação, tornam-se ambientes de simulação distantes dos reais. Já os ambientes de simulação, como o VisiMips, são fortemente baseados no processo de animação da simulação em interface gráfica, vinculando a programação de baixo e médio nível com o comportamento dinâmico das unidades funcionais do processador [Kabir; Bari; Haque, 2011]. No entanto, esse simulador só dá suporte a um único tipo de processador. Por outro lado, simuladores como o MPSoCBench [Duenha; Azevedo, 2016], que apresentam componentes de hardware modelados seguindo todas as características de componentes reais, se tornam muito complexos de configurar e interagir.

Este trabalho apresenta o CompSim, um simulador gráfico que suporta o projeto de diferentes modelos de componentes de hardware, os quais podem ser facilmente configurados e simulados, além de trazer informações detalhadas e estatísticas de simulação sobre eles. A seção a seguir traz mais detalhes do simulador proposto.

3. O Ambiente Virtual CompSim

O simulador aqui proposto possui um ambiente gráfico integrado¹ com diferentes recursos para apoio ao projeto e estudos de sistemas computacionais. Entre os recursos, pode-se citar: 1) **Editor de código** - com ele é possível codificar uma nova aplicação em baixo nível para execução no simulador; 2) **CPU** - exibe, em tempo de execução, os estados assumidos pelos registradores de um determinado processador; 3) **CACHE MEMORY** - exibe os estados das linhas de memória cache; 4) **MAIN MEMORY** - exibe os estados dos diferentes endereços da memória principal; 5) **DEVICES** - exibe informações de comunicações de entrada e saída com os periféricos durante uma simulação; 6) **SIMULATION** - esse componente possibilita configurar e controlar as simulações; 7) **LOG** - neste componente são exibidas informações dos eventos e estatísticas de simulação gerados por cada um dos componentes de hardware; e 8) **Assembler** - valida um novo programa de máquina (análises léxica e sintática), e gera código binário executável.

O simulador CompSim foi codificado – componentes de simulação de hardware e interface gráfica – com a linguagem de programação Python 3.5 e compilado com o *framework* Nuitka² para as plataformas MS Windows e GNU/Linux (32 e 64 bits).

1 Vídeo de demonstração do CompSim: <<https://www.youtube.com/watch?v=8BaGPvvZ6Zo>>.

2 Nuitka. Nuitka Home. Disponível em: <<http://www.nuitka.net/>>. Acesso em: 07 mar. 2017.

4. Estudo de Caso: Processador Cariri

Para avaliação da abordagem de projeto utilizando o simulador proposto, criou-se um modelo de simulação de um novo processador simples de 16 bits, denominado *Cariri*, o qual possui um novo conjunto de instruções (*ISA - Instruction Set Architecture*). Suas principais unidades funcionais e o caminho de dados (*datapath*) podem ser vistos na Figura 1.

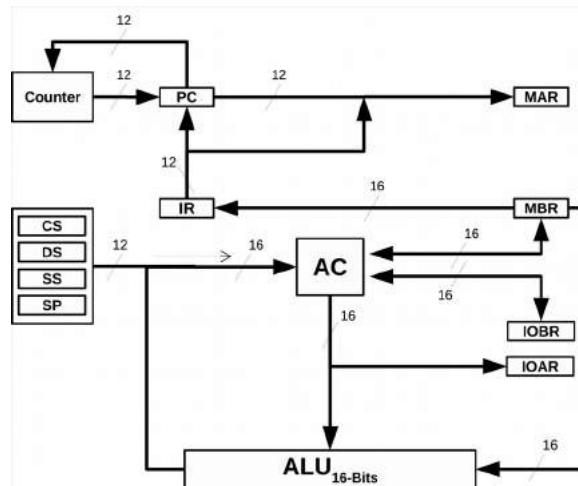


Figura 1. Processador Cariri: Unidades Funcionais e Datapath.

Entre as principais características desse processador, destacam-se: uma unidade lógica e aritmética (ULA), espaço de endereçamento diferenciado para entrada/saída e acesso à memória principal; suporte a diferentes modos de endereçamento; um banco de registradores para suportar 16 instruções de baixo nível; e suporte a operandos inteiros de 16-bits com sinalização (*signed int*) e a caracteres (*bytes*).

A plataforma computacional, criada para suportar a execução do novo modelo de processador, inclui memórias RAM e Cache, dispositivos de Entrada/Saída e um barramento. Para a simulação, utilizou-se uma aplicação *Assembly*, criada utilizando a *ISA* do processador Cariri, para cálculo iterativo do fatorial do número inteiro 7 (o resultado do cálculo do fatorial desse número está dentro do intervalo numérico que pode ser representado por um inteiro de 16-bits com sinal).

A Tabela 1 apresenta as estatísticas geradas pelos modelos de componentes da plataforma do estudo de caso, ao final da execução da aplicação de fatorial.

Tabela 1 – Estatísticas dos componentes de hardware para a aplicação de fatorial.

Componente			
CPU	Memória Cache	Memória Principal	Barramento
1. Instruções: 905	1.Acessos: 1707	1.Acessos: 3311	1. Transações: 1707
Arit./Lógicas: 252 Transfer. Dados: 501 Controle: 151 Sistema: 1	Leituras.:1500 Escritas: 207	Leituras: 3104 Escritas: 207	Leituras:1500 Escritas: 207
	2. Cache Hits: 1319	2. Blocos acessados: 388	2. Trans. Memória:1707
	Hits (leitura): 1189 Hits (escrita): 130	Leituras: 388 Escritas: 0	Leituras: 1500 Escritas: 207
	3. Cache Misses: 388	3.Bytes transf.: 6622	3. Transações de E/S: 0
	Misses (leitura): 311 Misses (escrita): 77	Leituras: 6208 Escritas: 414	Leituras: 0 Escritas: 0

5. Conclusão e Trabalhos Futuros

O uso de simuladores é uma prática recomendada no meio acadêmico, tanto para o aprendizado quanto para o projeto de novos sistemas computacionais. Acredita-se que o simulador proposto neste artigo permitirá otimizar a aprendizagem em arquitetura e organização de computadores, através de uma abordagem para estudo integrado dos conceitos relacionados aos componentes de hardware, bem como o projeto de novos sistemas computacionais. Trabalhos futuros incluem suportar diferentes arquiteturas de processadores, plataformas de hardware especificadas em linguagem de descrição de hardware (HDL) e possibilitar a interação com outros ambientes por meio de cossimulação.

Referências

- Atzori, L.; Iera, A.; Morabito, G. (2010) *The Internet of Things: A survey*. Elsevier.
- Donzellini, G.; Ponta, D. (2013) *From Gates to FPGA: Learning Digital Design with Deeds*. In: *Proceedings of the Third Interdisciplinary Engineering Design Education Conference – IEDEC*. pp.41-48.
- Duenha, L.; Azevedo, R. *Utilização dos Simuladores do MPSoCBench para o Ensino e Aprendizagem de Arquitetura de Computadores*. In: *International Journal of Computer Architecture Education (IJCAE)*, V. 5, n. 1, 2016. pp 26-31.
- Ecker, W.; Müller, W., Dömer, R. (2009) *Hardware-dependent Software Principles and Practice*. Springer.
- Hendrich, N. (2002) *From CMOS-Gates to Computer Architecture: Lessons Learned from Five Years of Java-Applets*. In: *Proceedings of the 4th European Workshop on Microelectronics Education, EWME*. Pp 23-24.
- Kabir, M. T.; Bari, M. T.; Haque, A. L. (2011) *VisiMips: Visual Simulator of MIPS32 Pipelined Processor*. In: *International Conference on Computer Science & Education (ICCSE)*. p. 788–793.
- Silva, G. P; Borges, J. A. dos S. *SimuS: Um Simulador para o Ensino de Arquitetura e Organização de Computadores*. In: *International Journal of Computer Architecture Education (IJCAE)*. V. 5, n. 1, 2016. pp 7-12.
- Skrien, D. (2001). *CPU Sim 3.1: A tool for simulating computer architectures for computer organization classes*. In: *Journal on Educational Resources in Computing (JERIC)*, 1(4), 46-59.

Vegeryday – Uma aplicação de auxílio à alimentação vegetariana

Giovana Santos¹, Alex Mulattieri Suarez Orozco¹, Alysson Hubner¹, Ricardo Luis dos Santos²

¹Instituto Federal Sul-rio-grandense (IFSUL) – Sapucaia do Sul – RS – Brasil

²Instituto Federal do Rio Grande do Sul (IFRS) – Vacaria – RS – Brasil

giovanadossantos97@gmail.com, {orozco, alyssonhubner}@inf.ufrgs.br,
ricardo.santos@vacaria.ifrs.edu

Abstract. *The decision to start a vegetarian diet has become increasingly popular in Brazil. About 8% of the population in state capitals or metropolitan areas claim to be vegetarian. The reasons that lead people into vegetarianism are multidimensional, such as ethic, religion and dietary restrictions. However, the transition from omnivore to vegetarian becomes difficult for the individual. Sometimes, they don't not know which food to consume and can not maintain a balanced diet. This project seeks to help and assist these individuals to solve these problems through an easy access plataform that has a space where the user will register their diet, and doing so, be able to organize their diet and keep track of consumed nutrients.*

Resumo. *A decisão de começar uma alimentação vegetariana tem se tornado cada vez mais comum no Brasil. Cerca de 8% da população brasileira em capitais de estados ou regiões metropolitanas afirmam ser vegetarianos. Os motivos que levam ao vegetarianismo são multidimensionais, como ética, religião e restrições alimentares. No entanto, o processo de transição de onívoro para vegetariano se torna difícil para o indivíduo. Em alguns casos, o mesmo não sabe quais alimentos consumir. Desta forma, o presente projeto buscou auxiliar estes indivíduos a resolver estes problemas através de uma plataforma de fácil acesso, no qual o usuário pode cadastrar sua dieta semanal, sendo assim capaz organizar sua alimentação.*

1. Introdução

A escolha de uma alimentação vegetariana em suas diversas formas tem sido adotada por diferentes grupos de pessoas. No Brasil, cerca de 8% da população em capitais de estados e regiões metropolitanas afirmam ser vegetarianos (IBOPE, 2012). Os motivos que levam o indivíduo ao vegetarianismo são multidimensionais, entre eles estão a ética e restrições alimentares. Partindo do momento desta escolha, o vegetariano possui dificuldades em manter uma dieta que supra todas as necessidades de aspecto nutricional que o organismo necessita, seja por falta de conhecimento de quais alimentos consumir, ou por falta de organização pessoal e controle da alimentação. Por isso, além de se situar no assunto, o adepto deve consultar profissionais da área da nutrição para definir uma base alimentar que forneça todos estes nutrientes. Com o crescimento da tecnologia em nossa sociedade, pode-se perceber um aumento de sites e

portais com foco na difusão de informação a respeito do vegetarianismo. Porém, ao realizar pesquisas em redes sociais e através de conversas com vegetarianos, percebeu-se que há uma carência de aplicações com o objetivo de auxiliar na transição e/ou manutenção diária da alimentação. Portanto, o presente projeto tem como objetivo auxiliar vegetarianos em sua dieta.

2. Vegetarianismo e a Tecnologia

No ano de 2016, o total de aplicativos nas lojas virtuais Google Play Store e Apple Store chegaram a dois milhões cada (STATISTA, 2016). O número alto de aplicações se deve ao constante questionamento de pessoas sobre como automatizar ou simplificar um processo diário. Em relação ao vegetarianismo não foi diferente, hoje é possível encontrar diversos aplicativos, porém, ainda não encontra-se uma aplicação que proporciona ao usuário controlar e visualizar a sua dieta dia a dia, que seja focado e exclusivo para vegetarianos.

A tecnologia pode, e deve ser usada para apoiar comunidades que precisam de maior visibilidade em nossa sociedade. Através de uma aplicação móvel, pode-se proporcionar ao usuário um diário onde ele irá controlar a sua alimentação e terá a visibilidade dos nutrientes que está consumindo, recebendo dicas sobre alimentos que deverá consumir para manter sua dieta equilibrada e saudável.

Com o objetivo de estudar as soluções presentes, foi realizada uma pesquisa sobre aplicações com temas e objetivos relacionados ao vegetarianismo. Foram selecionadas três soluções. São elas:

¿EsVegan? – uma plataforma em espanhol que através da leitura do código de barras do produto retorna a composição, informando se possui resquícios de animais (DESDELOSALVAJE, 2016).

HappyCow – uma plataforma que disponibiliza um guia de restaurantes vegetarianos ao redor do mundo, com informações de horários de funcionamento, contatos e endereços (TIME HAPPYCOW, 1999).

DietBox – uma plataforma que faz a intermediação entre paciente e nutricionista, disponibilizando um espaço para cadastramento de dietas (TIME DIETBOX, 2016).

Dentre as três soluções, nenhuma propõe as mesmas funcionalidades, de forma exclusiva para vegetarianos. Com isso, foi possível identificar um diferencial para o desenvolvimento de uma plataforma para este fim.

3. Metodologia

3.1 Pesquisa de dados

Para o desenvolvimento deste projeto foram realizadas pesquisas com o público alvo, através de formulários online, e pesquisas de artigos na área da nutrição. Através do formulário realizado com vegetarianos em redes sociais, foram obtidas 921 respostas, onde percebeu-se que a transição de onívoro para vegetariano torna-se difícil devido a falta de apoio de familiares e amigos (48,3% dos entrevistados), assim como a falta de tempo para a organização e manutenção de uma dieta equilibrada (44,3% dos entrevistados), como ilustrado na Figura 1.

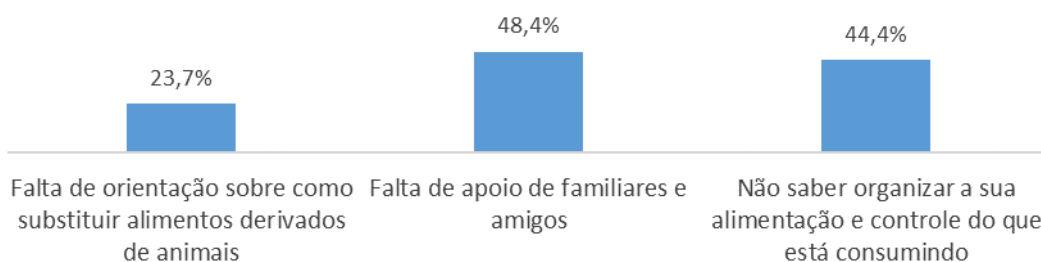


Figura 1. Gráfico das maiores dificuldades entre os vegetarianos

3.2 Desenvolvimento e tecnologias

Para suprir as necessidades do público consultado, foram definidas as seguintes funções do sistema: Auxiliar o usuário a organizar sua alimentação no dia a dia e ter o controle de nutrientes consumidos; Indicar alimentos de fácil preparação que possuem os nutrientes necessários para a manutenção da alimentação saudável; Disponibilizar dados nutricionais dos alimentos apresentados, bem como as comparações entre os alimentos de origem animal a serem substituídos; Informar sobre profissionais da saúde próximos ao usuário, caso este queira um acompanhamento médico nutricional; Orientar o usuário na elaboração da sua dieta semanal, com informações nutricionais; Permitir que nutricionistas consigam manter um contato com seus pacientes, revisando suas dietas.

De forma a oferecer essas funcionalidades, foi desenvolvida uma plataforma denominada Vegeryday. Esta plataforma é composta por uma aplicação para o sistema operacional Android, com os dados persistidos no Sistema Gerenciador de Banco de Dados SQLite. Esta aplicação consome Web Services (LECHETA, 2015), desenvolvidos com o auxílio do framework Spring (PIVOTAL Software Inc, 2016). Para gerenciar a persistência dos dados dos Web services, foram utilizados o framework Hibernate (BAUER et alii, 2015) e o Sistemas Gerenciadores de Banco de Dados MySQL (ALLEN e OWENS, 2011). Algumas telas do aplicativo são demonstradas na Figura 2.

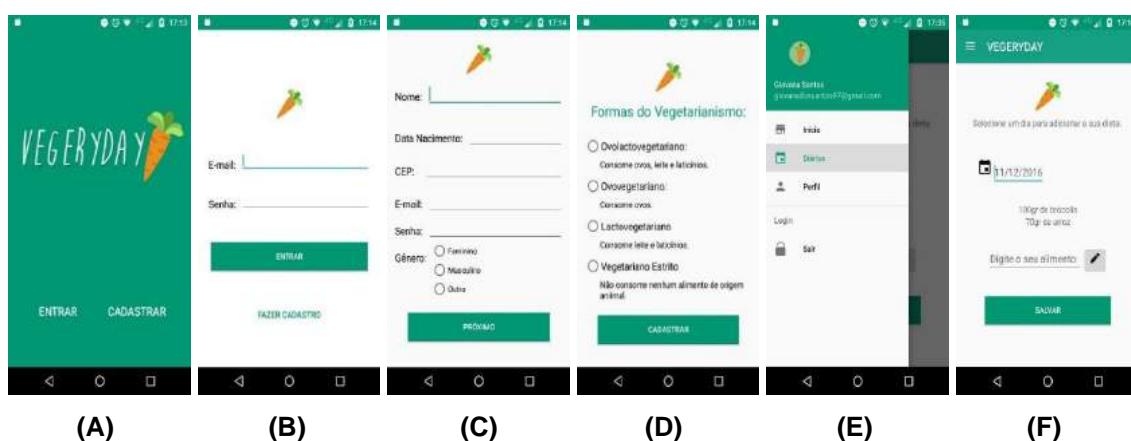


Figura 2. Telas do sistema: (A) Tela inicial, (B) Tela de Login, (C) Primeira tela de cadastro, (D) Segunda tela de cadastro com os tipos de vegetarianos, (E) Menu do sistema, (F) Tela de cadastro de diários

3.2 Avaliação

A plataforma foi avaliada através de formulário, o qual obteve-se 120 respostas, a fim de analisar a aceitação do projeto entre vegetarianos. Cerca de 97% dos entrevistados afirmaram que usariam a aplicação e acham necessário o desenvolvimento de aplicações voltadas para o vegetarianismo, como ilustrado na Figura 3.

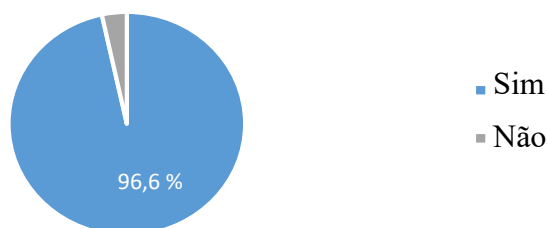


Figura 3. Gráfico de aceitação da aplicação junto ao público alvo

4. Conclusão

Este trabalho objetivou desenvolver uma plataforma para auxiliar pessoas a aderirem ao vegetarianismo. Através de uma pesquisa de dados, desenvolvimento da plataforma e pesquisa de aceitação, concluiu-se que o Vegeryday pode auxiliar seus usuários a manter suas dietas equilibradas, e também auxiliar uma comunidade a ter uma maior visibilidade dentro da sociedade

5. Referências

- ALLEN, Grant e OWENS, Mike. (2011) “The Definitive Guide to SQLite”. Apress, 368p.
- BAUER, Christian; KING, Gavin; GREGORY, Gary. (2015) “Java Persistence with Hibernate”. Em: Manning Publications Company, 608p.
- DESDELOSALVAJE. (2016) “¿EsVegan?”. Disponível em: <<http://esvegan.com/>>. Acesso em: 19 mar. 2017.
- DIETBOX. (2016) “DietBox”. Disponível em <<https://dietbox.me/pt-BR/>>. Acesso em: 19 mar. 2017.
- HAPPYCOW. (1999) “HappyCow”. Disponível em: <<https://www.happycow.net/about-us>>. Acesso em: 19 mar. 2017.
- IBOPE. (2012) “IBOPE 2012: 15,2 milhões de brasileiros são vegetarianos”. Disponível em: <<https://www.vista-se.com.br/ibope-2012-152-milhoes-de-brasileiros-sao-vegetarianos/>>. Acesso em: 10 mar 2016.
- LECHETA, Ricardo. (2015) “Web services RESTful: Aprenda a criar web services RESTful em Java na nuvem do Google”. Novatec, 432p.
- PIVOTAL Software Inc. (2016) “Spring for Android”. Packt Publishing, 126p.
- STATISTA. Number of apps available in leading app stores as of June 2016. Disponível em: <<https://www.statista.com/statistics/276623/number-of-apps-available-in-leading-app-stores/>>. Acesso em: 04 dez. 2016.

Experiência de Gamificação na Organização dos Trabalhos de Conclusão de um Curso Técnico em Informática

Gian Luca Motta Flores¹, Ângelo Nery Vieira Crestani¹, Rudieri Dietrich Bauer¹,
Jaline Gonçalves Mombach¹

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha
RS-377, Km 27 – Passo Novo – CEP 97555-000 – Alegrete – RS

{gianlucamottaflores, angelovieira.c, rudierib}@gmail.com

jaline.mombach@iffarroupilha.edu.br

Abstract. *Students of Integrated Technical Course in Informatics (medium level), most teenagers, have difficulty to comply and organize their final works. Therefore, this paper describes the experience of the gamification approach using the Class Dojo platform. The results indicate that methodology is viable and can be replicated in other educational institutions.*

Resumo. *Alunos de Curso Técnico em Informática Integrado, maioria adolescentes, têm dificuldade para cumprir e organizar seus trabalhos finais. Assim, este artigo descreve a experiência obtida a partir de uma abordagem de gamificação usando a plataforma Class Dojo. Os resultados indicam que a metodologia é viável e pode ser replicada em outras instituições de ensino.*

1. Introdução

O uso de jogos como recurso de ensino não é necessariamente algo inovador, porém um novo termo tem sido discutido de forma progressiva: "gamificação". Conforme Kapp (2012), os jogos digitais são excelentes ambientes de aprendizagem, principalmente porque permitem a falha, o tentar novamente, o senso de controle e a colaboração entre pares. Dessa forma, gamificação é a aplicação de técnicas e metodologias de jogos digitais em diferentes contextos.

Gee (2003) descreve que a gamificação aplicada na educação gera motivação nos estudantes, que criam prioridades para atingir os objetivos propostos. A aplicação de um ambiente gamificado no ensino resulta em benefícios, como o compartilhamento de conhecimentos, experiência em grupo e uma melhor preparação para o mercado de trabalho, devido aos objetivos que precisam ser alcançados.

No Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha, Campus Alegrete, percebeu-se que os alunos do último ano do curso Técnico em Informática Integrado, isolavam-se durante a realização do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC). Além disso, a maioria dos discentes deste nível de ensino são adolescentes e relatam dificuldade para organização e cumprimento do cronograma de orientação. A desmotivação em alguns alunos era evidente e ao final do ano letivo um número expressivo de alunos ficava em recuperação no TCC.

Diante deste contexto, o principal objetivo deste trabalho é relatar a experiência obtida com uma metodologia baseada em gamificação para organização dos TCCs do em um Curso Técnico em Informática Integrado.

2. Gamificação na Educação

Gamificação pode ser considerada a aplicação de jogos apropriados para resolução de problemas e incentivo à aprendizagem e tem por meta aumentar a motivação e engajamento, trabalhando quesitos como cooperativismo, competitividade, entre outras questões que devem ser melhoradas, dependendo da área em que é aplicado o método (MUNTEAN, 2011).

Essa metodologia como apoio à disciplinas escolares tem sido aplicada frequentemente. Exemplifica-se como trabalhos relacionados as abordagens de Iosup e Epema (2014) e Bitencourt (2014). Durante três anos de pesquisa em um projeto sobre a eficiência da gamificação na educação, Iosup e Epema (2014) trabalharam com aproximadamente 450 alunos. A partir da análise de resultados positivos e negativos durante o período de aplicação, os autores concluíram que a gamificação auxiliou principalmente no aumento da taxa de aprovação de estudantes, comparando com a porcentagem de reprovação anterior. Já Bitencourt (2014) relata a experiência obtida na gamificação de uma disciplina no Curso de Licenciatura em Computação em um Instituto Federal. Conforme o autor, um dos principais ganhos desta metodologia é a possibilidade de observar os diferentes ritmos de trabalho dos alunos, bem como acompanhamento pessoal do progresso de cada aluno, algo que não é facilitado em sistemas tradicionais de ensino.

Quanto às metodologias empregadas, os autores mencionam sistemas próprios para pontuação e níveis nas disciplinas. No entanto, Maclean-Blevins e Muilenburg (2013) descreve o uso de uma plataforma livre e que oferece diferentes recursos, o Class Dojo ¹

3. Relato de Experiência

A turma de concluintes do Curso Técnico em Informática Integrado deve elaborar um trabalho de conclusão, que consiste no desenvolvimento de um sistema e/ou outra tarefa prática e na escrita de um artigo completo. Porém, a turma de 2016, formada por 15 estudantes, com idades entre 16 e 19 anos apresentou baixo rendimento no primeiro semestre e constatou-se que era necessário nova abordagem, visto que a turma anterior (2015) também teve dificuldades para organização individual do trabalho. Dessa forma, a metodologia adotada foi desenvolvida em quatro etapas:

1. **Estudo do Contexto:** dinâmica com os alunos e intervenção com o setor psicológico para traçar as dificuldades encontradas e as metas individuais.
2. **Plataforma de Gamificação:** configuração da plataforma para gamificação junto com os alunos
3. **Acompanhamento:** rotina semanal de acompanhamento das metas e desenvolvimento do TCC, bem como distribuição de pontuações
4. **Avaliação:** avaliação com a equipe e alunos para verificação de questões positivas e negativas da metodologia

Primeiramente, realizou-se uma dinâmica com os alunos para descobrir como a turma estava se sentindo com a realização do TCC. As questões abordadas foram: *O que eu quero apresentar no TCC? O que eu já fiz? O que falta fazer? Como eu me sinto? Quais as dificuldades? Do que eu preciso?* . Após a dinâmica, verificou-se que muitos

¹Class Dojo. Disponível em <https://www.classdojo.com/pt-br/>

alunos sentiam-se desmotivados com os estudos e principalmente com as tarefas que precisavam ser realizadas no TCC. Nas dificuldades, observou-se que muitos não procuravam o professor orientador, não cumpriam o cronograma e alguns não ajudavam os colegas. Solicitou-se aos alunos que criassem metas individuais, necessárias para conclusão do trabalho. Logo, a segunda etapa foi a configuração da plataforma e acesso dos alunos.

A plataforma escolhida para trabalho foi Class Dojo, ferramenta que consiste em um sistema de avaliação comportamental on-line. Os comportamentos a serem pontuados são editados pelo professor e podem ser acompanhados por educandos e pais, se os mesmos realizarem o cadastro. Os pontos podem ser agregados positivamente ou negativamente e realizam um total para a turma, obtendo um montante da pontuação de todos os alunos. A Tabela 1 apresenta as habilidades configuradas para a turma.

Habilidades Positivas		Habilidades a Melhorar	
Descrição	Pontuação	Descrição	Pontuação
Ajudando os outros	1	Desatenção em aula	0
Autonomia	2	Desrespeito aos colegas	-1
Cumprindo o cronograma	4	Não cumprindo o cronograma	-1
Foco na formatura	1	Não estudando	-1
Motivação	2	Não falando com o orientador	-1
Persistência	2	Realização de outras atividades durante a disciplina de TCC	-3
Procurando o orientador	3		
Trabalho em aula	4	Plágio	-2

Tabela 1. Habilidades configuradas para a turma

O acompanhamento da turma é semanal e a professora da disciplina registra a pontuação no sistema, conforme realização de atividades dos estudantes. O cronograma adotado foi criado pelos próprios alunos e são as metas individuais de cada um. Além disso, há comunicação direta com os orientadores dos alunos para verificar se eles estão procurando-os para orientação. A Figura 1 demonstra a visão do professor sobre a plataforma, sendo esta tela a apresentação da configuração da turma no Class Dojo, em que cada aluno configura seu personagem.



Figura 1. Alunos, respectivas pontuações e ambiente virtual

O ambiente virtual apresentado ao discente difere da visão do docente, sendo possível visualizar apenas seus dados.

A participação dos responsáveis do estudante, apesar de viável pelo sistema e recomendada por educadores para acompanhamento das atividades do aluno, não foi numerosa. Apenas dois pais realizaram cadastro, apesar do envio das informações e realização de reunião com os responsáveis para anunciar a nova metodologia empregada.

4. Considerações Finais

Inicialmente, observou-se certa estranheza dos alunos com a plataforma, principalmente devido à aparência lúdica com personagens. Porém, todos os discentes demonstraram entusiasmo com as pontuações e com os desafios semanais propostos.

A plataforma possibilita análise de progresso dos alunos, facilitando o acompanhamento individual destes. Os alunos habituaram-se ao novo método avaliativo de seus comportamentos, e a maioria, passou a cumprir o seu cronograma de tarefas individuais do TCC, gerando pontos positivos para si e para a turma. Salienta-se também a aprendizagem colaborativa, pois quando um aluno não conseguia resolver algum erro em seu código, outros tentavam auxiliá-lo. Em contraponto, alguns alunos do grupo não mudaram seu comportamento, mesmo diante da nova metodologia. Dessa forma, quatro alunos reprovaram no TCC.

Percebe-se que a proposta é viável e que necessita de aplicação em outras turmas para resultados mais objetivos. Porém, a docente, que também ministrou a disciplina no ano anterior, relatou que percebeu mudança no comportamento dos alunos e a plataforma está sendo adotada novamente na turma de 2017.

Referências

- BITENCOURT, R. B. Experiência de gamificação do ensino na licenciatura em computação no sertão pernambucano. *XIII Simpósio Brasileiro de Games e Entretenimento Digital (SBGames 2014)*, 2014.
- GEE, J. P. What video games have to teach us about learning and literacy. *Computers in Entertainment (CIE)*, ACM, v. 1, n. 1, p. 20–20, 2003.
- IOSUP, A.; EPEMA, D. An experience report on using gamification in technical higher education. In: ACM. *Proceedings of the 45th ACM technical symposium on Computer science education*. [S.l.], 2014. p. 27–32.
- KAPP, K. M. *The gamification of learning and instruction: game-based methods and strategies for training and education*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2012.
- MACLEAN-BLEVINS, A.; MUILENBURG, L. Using class dojo to support student self-regulation. In: *Proceedings of World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia and Telecommunications*. [S.l.: s.n.], 2013. p. 1684–1689.
- MUNTEAN, C. I. Raising engagement in e-learning through gamification. In: *Proc. 6th International Conference on Virtual Learning ICVL*. [S.l.: s.n.], 2011. p. 323–329.

4º WPIETFIRTF - Workshop Pré-IETF-IRTF

Apresentação

O Internet Engineering Task Force (IETF) é uma comunidade internacional de pessoas interessadas em cumprir a missão de produzir padrões que influenciam a maneira como as pessoas projetam, usam e gerenciam os recursos da Internet [RFC3935]. O processo de estabelecer padrões para a Internet é longo, complexo e exige participação intensa, sobretudo de estudantes e pesquisadores. Embora hajam pessoas do mundo inteiro trabalhando ativamente, cada dia mais se verifica a necessidade de novas presenças. Além disso, existem trabalhos e atividades associadas ao Internet Research Task Force (IRTF), que promove pesquisas relevantes à evolução da Internet, através de grupos que trabalham com foco de pesquisas de longo prazo, relacionados a protocolos, aplicações, arquitetura e tecnologia da Internet.

Um grupo, que se reúne através do IETF-LAC, considerou importante a criação de um workshop com o objetivo de expandir a presença Latino Americana no IETF. Além da divulgação em si, considerou-se de extrema importância oferecer um ambiente para que as habilidades de nossos técnicos, estudantes e pesquisadores fossem exibidas, antecipando-se aos três encontros anuais do IETF. Nesse contexto, surgiu a proposta para criar o Workshop Pré IETF/IRTF (WPIETFIRTF), em sua quarta edição em 2017.

A primeira edição ocorreu no CSBC 2014, em Brasília, a segunda edição ocorreu no CSBC 2015, em Recife e a terceira edição ocorreu no CSBC 2016, em Porto Alegre. Nesta edição, foram submetidos 8 artigos completos, sendo 7 aceitos.

Comitê Organizador

Coordenação Geral

Alvaro Retana (Cisco - BR), Christian O'Flaherty (Internet Society - UY), Julião Braga (Mackenzie - BR), Leandro Melo de Sales (UFAL - BR), Lisandro Zambenedetti Granville (UFRGS - BR)

Coordenação da Premiação

Demi Getschco (Nic.br), Lisandro Zambenedetti Granville (UFRGS - BR), Patricia Takako Endo (UPE - BR)

Coordenação do 4º Workshop

Leandro Melo de Sales (UFAL - BR), Rafael de Amorim Silva (UFAL - BR), Patricia Takako Endo (UPE - BR)

Coordenação do Comitê de Programa

Rafael de Amorim Silva (UFAL - BR)

Coordenação Local

Dirceu Matheus Junior (Mackenzie)

Comitê de Premiação

Alvaro Retana (Cisco - US), Christian O'Flaherty (Internet Society - UY), Jéferson Campos Nobre (Unisinos - BR), Marcela Orbiscay (Universidad Tecnológica Nacional Regional Mendoza - AR), Nizam Omar (Mackenzie - BR), Luciano Silva (Mackenzie - BR), Paulo Batista Lopes (Mackenzie - BR), Carlos Alberto Afonso (Internet Society - BR)

Comitê de Apoio

Ana Leda Moraes (Uninove - BR), Anna Paula Bezerra Soares de Andrade (UPE - BR), Durval Pereira (UFAL), Jéssica Ribas (Mackenzie - BR), Luccas Augusto (UFAL), Jorge Barbosa Cavalcanti (UPE - BR), Rômulo César Dias de Andrade (UPE - BR), Vagner Silva (Unicsul - BR), Wylliams Barbosa Santos (UPE - BR)

Comitê de Programa

Ana Cristina Oliveira Dantas (Instituto Federal da Paraíba - BR), Cristian Perez Monte (Universidad Tecnológica Nacional Regional Mendoza - AR), David Beserra (Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne - FR), Diego Dujovne (Universidad Diego Portales - CH), Fernando Farias (Universidade Federal do Pará - BR), Gustavo Mercado

(Universidad Tecnológica Nacional Regional Mendoza - AR), Ivo Calado (Instituto Federal de Alagoas - BR), Jéferson Campos Nobre (Unisinos - BR), Marcelo Anderson Batista (Instituto Federal de Pernambuco - BR), Maria Ines Robles (Ericsson - FI), Mario A. Guimarães (Kennesaw State University), Rafael de Amorim Silva (Universidade Federal de Alagoas - BR), Ramide Augusto Sales Dantas (Instituto Federal de Pernambuco - BR), Rosana Oliveira Cavalcante (Universidade do Porto - PT), Stenio Fernandes (Universidade Federal de Pernambuco - BR)

Palestras

Uma introdução sobre YANG

Antonio Moreiras

Uma visão geral sobre IoT no contexto da IETF

Gustavo Mercado

Trabalhos aceitos

Taking Open vSwitch to the Gym: An Automated Benchmarking Approach

Raphael Vicente Rosa, Christian Esteve Rothenberg

Dark Think Security: Enhancing the Security for the Autonomous Architecture over a Restricted Domain

Julião Braga, Rafael de Amorim Silva, Patricia Takado Endo, Nizam Omar

Cidades Inteligentes: Uma arquitetura de Gerenciamento Autônômica no Contexto de IoT

Pablo Tibúrcio, Marcelo Santos, Stênio Fernandes

Alocação de Recursos em Funções de Redes Virtualizadas: Desafios e Perspectivas Aplicado em Data enter

Rafael Souza, Marcelo Santos, Stênio Fernandes

Avaliação de desempenho de um controlador SDN implementado como uma VNF

Danyel Mendes, Marcelo Santos, Stenio Fernandes

Analisando a participação do Brasil e dos demais países da América Latina nos encontros do IETF

Julião Braga, Patrícia Takako Endo, Marcelo Santos, Jeferson Campos Nobre, Leylane Grazielle Ferreira da Silva, Gleyson Rhuan, Nascimento Campos, Nizam Omar

Comparação entre as Extensões Bundle Security Protocol, Streamlined Bundle Security Protocol e Bundle Protocol Security Specification para o Bundle Protocol

Lucas W. P. Pinto, Jeferson C. Nobre

Taking Open vSwitch to the Gym: An Automated Benchmarking Approach

Raphael Vicente Rosa¹, Christian Esteve Rothenberg¹

¹School of Electrical and Computer Engineering (FEEC)
University of Campinas (UNICAMP)
Campinas – SP – Brazil

{raphaelvrosa, chesteve}@dca.fee.unicamp.br

Abstract. *Performance benchmarking in Network Function Virtualization (NFV) pose challenging issues due to all moving parts of virtualized infrastructures potentially affecting the packet processing performance of Virtualized Network Functions (VNFs). Despite the advances in best-of-breed network virtualization technologies, the dependencies on the underlying allocated hardware resources, their characteristics and customized configurations, result in benchmarking hazards that call for innovative and standardized testing methodologies towards adequate VNF performance profiling. To this end, we designed and prototyped Gym, a testing framework for automated NFV performance benchmarking we experimentally validated on Open vSwitch as a target VNF. The design principles and implementation of Gym demonstrate an useful apparatus to assist standards organizations formalizing VNF testing methodologies.*

1. Introduction

Our initial work on VNF Benchmarking as a Service (VBaaS) [Rosa et al. 2015a] introduced the problem statement of VNF benchmarking based on ‘trust-but-verify’ principles towards standardized performance testing to evaluate candidate platforms and locations to host the (chains of) VNFs with respect to target Key Performance Indicators (KPIs). Presented in Internet Research Task Force (IRTF) NFV Research Group (NFVRG), [Rosa et al. 2015b] brought ideas towards the problem statement and initial handling proposal for VBaaS. At that time, attention was given to VNF performance profiles needed for Network Function Virtualization Orchestrator (NFVO) embedding algorithms as well as parameters in support of business decisions including resource optimization objectives and Service Level Agreement (SLA) related aspects of NFV contracts. In a more focused approach, our efforts moved to initiating a discussion towards “VNF Benchmarking Methodology” [Rosa et al. 2016] inside the Benchmarking Methodology Working Group (BMWG). However, there was no further traction due to the lack of solid results that could assist the common relationship of Internet Engineering Task Force (IETF) with rough consensus and running code.

Ongoing work at IETF BMWG under the umbrella of “Considerations for Benchmarking Virtual Network Functions and Their Infrastructure” [Morton 2016], brings important guidelines and initial directions for developing standardized VNF benchmarking methodologies. Alongside, “Benchmarking Virtual Switches in OPNFV” [Tahhan et al. 2016] initiates the discussion on a methodology to benchmark software switches based on experiences in OPNFV VSperf project. Simi-

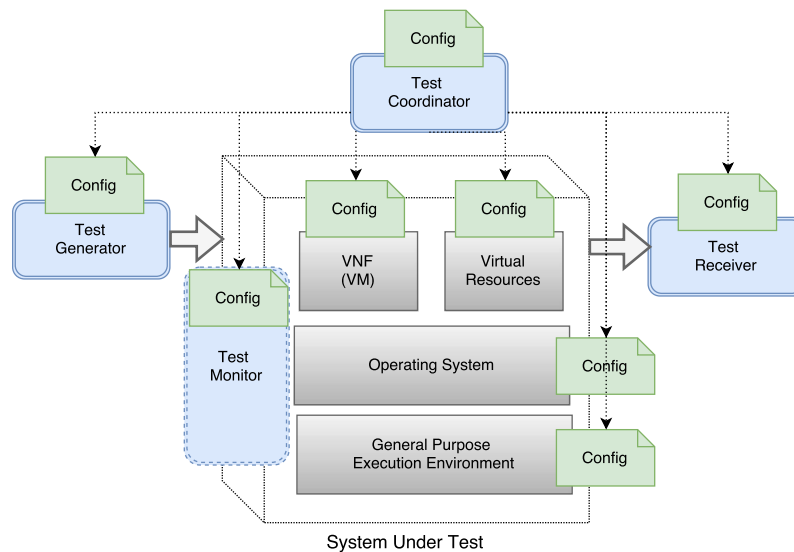


Figure 1. Big picture of VNF Testing

larly, the European Telecommunications Standards Institute (ETSI) Industry Specification Group (ISG) NFV Testing Group Specification Report on Pre-deployment Testing [ETSI GS NFV-TST 2016] details requirements and recommendations for validating VNFs and NFV Infrastructure (NFVI), with especial attention on the separation of control and data plane characteristics.

Revisiting our initial ideas on VBaaS [Rosa et al. 2015a] towards moving forward on the IETF/IRTF standardization threads by means of running code, in this paper, we present Gym as a testing (see Fig. 1) framework implementation based on a minimum set of standardized interfaces allowing user-defined tests along a catalog of reusable VNF testing reports and procedures with wide- and well-defined system configurations, workload parametrization (linking to specific traffic generation tools and their configuration), KPI computation, along all data expected from standardized benchmark methodologies. As argued in [Raumer et al. 2016], methodologies of benchmarking to interconnect devices can be revisited by new perspectives of measurements (e.g., latency long tail behavior) and new tool-sets (e.g., MoonGen [Emmerich et al. 2015]).

Already in production networking use cases (e.g., Google B4 [Jain et al. 2013]), software switches demand a particular set of data plane design and configurations in order to attain desired packet processing performance. In a seminal work [Pfaff et al. 2015], Open vSwitch is dissected highlighting main concerns in expressiveness of OpenFlow versus performance, and how some design and implementation decisions were taken to solve such issue. Another recent work [Molnár et al. 2016] shows the importance of data plane specialization in attaining high performance for OpenFlow-like pipelines in a switch built over Intel Data Plane Development Kit (DPDK). Motivated by the related work and relevance of programmable software switches (as a cornerstone VNF), we illustrate Gym (dissected in Sec. 2) throughout our benchmarking experiments with OpenvSwitch (OVS) (see Sec. 3). We present a critical analysis of our findings and design principles in Sec. 4 and discuss related work in Sec. 5. Finally, we conclude the paper in Sec. 6 with pinpoints and future work.

2. Gym: An Automated Benchmarking Framework

Our approach towards the Gym testing framework is based on providing proper abstractions and instantiation manners to validate, benchmark and dimension VNFs [ETSI GS NFV-TST 2016], leveraging as much as possible the existing literature (e.g., IETF BMWG) and practical work (e.g., open source components), and altogether calling for a community approach following open data and open source practices.

During the design and development process of the former VBaaS [Rosa et al. 2015a], new abstractions were upgraded and implemented, giving birth to sets of generic and modular VNFs testing components. The overall implemented framework was then baptized as Gym. Among its main characteristics, we highlight: (i) modular architecture with stand-alone programmable components; (ii) simple messaging system among them following generic Remote Procedure Call (RPC) guidelines; (iii) extensible set of tools and associated metrics; (iv) programmability of tests through dynamic compositions of modules; and (v) corresponding flexible methods for output processing and visualization of tests results.

As a software-centric framework for NFV, Gym seeks to introduce new opportunities to different actors. As shown in Fig. 1, VNF developers can rely on the framework to develop tests for VNFs performance profiling aligned with agile Continuous Integration of DevOps methodologies to speed their time-to-market. Service Providers might enhance offered services Quality of Service (QoS) with tested-deployed scenarios (e.g., varying workloads in multiple sites), containing transparent sets of required VNF metrics. Infrastructure/Cloud Providers, via VNF testing in their execution environments, could increase reliability with compliance methodologies (e.g., energy consumption).

2.1. Conceptual Ideas and Guiding Principles

Design for modularity is one of the main guiding principles of Gym to allow independent software components being orchestrated on-demand to fulfill the testing objectives and provide unconstrained means for extensibility. Considering the VNFs complex set of requirements and capabilities, the framework gives a high degree of freedom to users to compose sets of tools and evaluation models through simple description formats to continuously develop and integrate VNFs testing methodologies. Gym design principles, enunciated below, come into discussion further with the evaluation of a VNF benchmarking use case. When such principles are adopted in designing and building a testing framework, we believe experimentation methodologies can be written in simple ways for testing VNFs (e.g., dimensioning or benchmarking).

1. **Comparability:** output of tests shall be simple to understand and process, in a human-readable format, coherent and easily reusable (e.g. inputs for analytic applications).
2. **Repeatability:** testing setup must be comprehensive defined through a handfull/flexible design model, which can be interpreted and executed by the testing platform repeatedly, allowing customization.
3. **Interoperability:** tests should be able to be ported to different environments using lightweight technologies.
4. **Configurability:** open interfaces and extensible messaging models between components to provide flexibility when composing test descriptions and configurations.

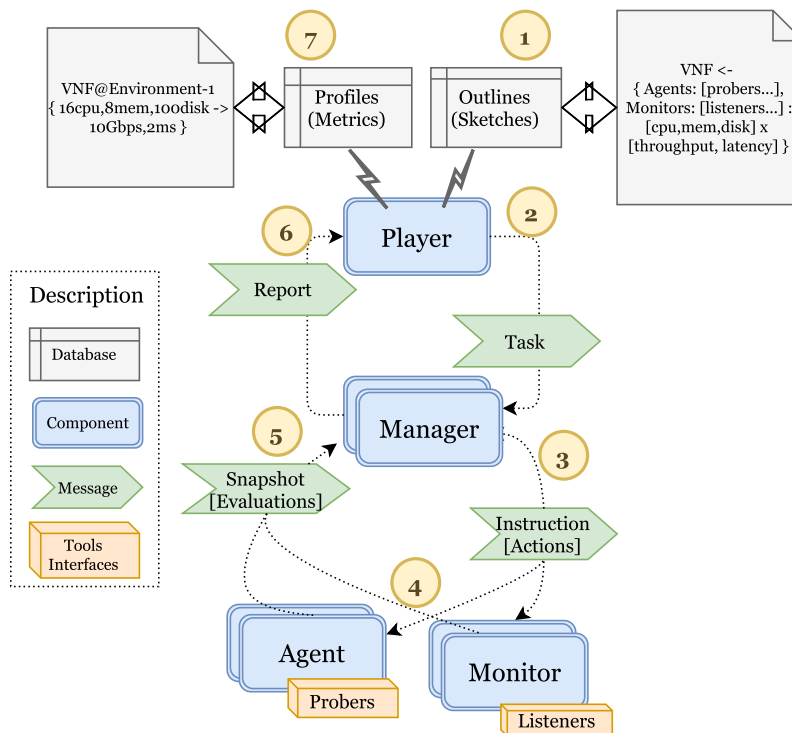


Figure 2. Gym Architecture

2.2. Architecture

The main components of Gym are illustrated in Fig. 2.

Agent. Towards extensible (e.g., plug-and-play) tools' interfaces (e.g., iperf, ping), named probers, executes active probes to collect network and host-specific metrics. While a single Agent is capable of performing localized tests (e.g., CPU and disk I/O benchmarks), the interaction among distributed agents enables the collection of end-to-end network metrics (e.g., frame loss rate, latency). Possibly, one end can be a VNF itself where, for example, one-way throughput is evaluated. Agent's APIs are open and modular for flexible extensions. It receives from Manager procedure calls with *instructions* containing a set of actions to properly run probers, parse their results, and send back *snapshots* containing the set of evaluations of those probers' actions.

Monitor. Designed for internal and external instrumentation of VNFs and their execution environment, aims to perform passive monitoring via tools' interfaces (e.g., top, tcpdump), named listeners, for metrics collection according to Agents' workloads. For instance, to monitor vCPU utilization of a VNF execution environment when Agents probe traffic is sent (e.g., with particular packet length). Different from Agents' active approach, seen as generic VNF probers, Monitors observe particular properties according to capabilities offered by VNFs and their respective execution environment. Similarly to Agents, Monitors interact with Manager to receive *instructions* and then to reply *snapshots*.

Manager. Responsible for (a) keeping a coherent state of controlled components (e.g., Agents and Monitors) and their features; (b) interacting with Player to receive *tasks* and decompose them into a coherent set of *instructions* (containing actions) for; (c) the synchronous coordination of Agents and Monitors' activities; and (d) processing *snapshots*

with their proper aggregation into *reports* back to Player.

Player. As the main entry-point for users, it defines interfaces with different abstractions: (i) metrics correspondent to probers or listeners and their associated properties and requirements; (ii) and VNF testing *outlines* containing one or more metrics with their associated parameters. Player receives inputs as *outlines* and decomposes them in a set of *tasks* necessary to extract their associated metrics. Such *tasks* are selected to be sent to Manager and then to receive *reports*, which can be properly parsed and saved in databases. An interface is provided for graphic visualization purposes of the extracted metrics.

Two relevant terms deserve further explanation:

- *Outline*: specifies how to test a VNF that may be specific to it or applicable to several VNF types. It includes structural (e.g., Agents/Monitors) and functional *sketches* with variable parameters (e.g., probers/listeners properties), used as inputs by Gym to perform VNFs tests.

- *Profile*: is composed by the outputs of an Outline execution, and represents a mapping between virtualized resources (e.g., vCPU, memory) and performance (e.g., throughput, latency between in/out or ports) at a given environment. It abstracts a VNF allocation with desired resources to deliver a given (predictable/measured) performance quality.

2.3. Messaging System and Workflow

Gym core components communicate through REpresentational State Transfer (REST) Application Programming Interface (API) using generic RPC calls with custom JSON message formats. We now describe request-reply message exchanges within the pairwise component interactions as represented in the numbered (1 to 7) circles of Fig. 2.

1. The first step consists of a user defining the composition of the VNF testing *Outline* through *Sketches* as the structural and functional requirements to express target performance metrics to generate a VNF *Profile*.
2. The Player processes the parametrized *Outline* considering the features offered by its associated Managers. The job's output is a workflow of *tasks*, in sequence or parallel, submitted to a selected Manager that satisfies (controls set of Agents/Monitors matching) the *Outline* requirements. Based on input variables, an *Outline* can be decomposed in sets of tasks, high-level *probers/listeners* parameters and inherited *Outline* input variables.
3. The Manager decomposes *tasks* in a coherent sequence of *instructions* to be sent to Agents and/or Monitors. Inside each *instruction*, sets of *actions* define execution procedures of *probers/listeners* along the respective parameters. Sequential or parallel *tasks* might have properties to be decomposed in different sets of *instructions*, for instance, when sampling cycles might define the execution of *instructions* repeatedly.
4. By interpreting *actions* into *probers/listeners* execution, Agents and Monitors perform active and passive measurements to output metrics via pluggable tools. For instance, a VNF developer can freely create customized probers and listeners to interface her tests and extract particular metrics. Such tools' interfaces are automatically discovered by Agents/Monitors and exposed as "available" to Manager and Player with their proper execution parameters and output properties.
5. After extracting required metrics, on the way back, sets of *evaluations* (*actions* parsed outputs) integrate *snapshots*, which are sent from Agents/Monitors to the

Manager. All sets of *snapshots* dependent on a specific *task* are received from Agents/Monitors whom *instructions* were sent to. *Evaluations* contain timestamps and identification of the originating probers and listeners, whereas *snapshots* receive Agents/Monitors unique identification and their environment hostname.

6. After processing all the *instructions*' related tree of *snapshots*, the Manager composes a *report*, as a reply to each *task* requested by the Player. The Manager can sample *snapshots* in a diverse set of programmable methods. For instance, a *task* may require cycles of repetition, so the correspondent *snapshots* can be parsed and aggregated in a report through statistic operations (e.g., mean, deviation).
7. Finally, the Player processes the *report* following the *profile* metrics definition, as established initially during the *outline* decomposition. While the *profile* contains filtered evaluation metrics and parameters, the individual *snapshots* can be aggregated/sampled into *reports*. Results can be exported in different file formats (e.g., csv, json, yaml) or saved into databases for further analysis and visualization. For instance, in our current Gym instantiation we integrate the well-known open source Elasticsearch database and the Kibana visualization platform —tools providing high flexibility in querying, filtering and creation of different visual representations of the extracted *profiles*.

3. Benchmarking Open vSwitch

Herein we present our experiments with Gym when benchmarking Open vSwitch, which was our benchmarking System Under Test (SUT) choice, because of being widely used over many Linux distributions, virtualization environments (e.g., Xen, KVM, Docker) and platforms (e.g., OpenStack, OpenNebula). From openvswitch.org, “Open vSwitch is a production quality, multilayer virtual switch licensed under the open source Apache 2.0 license. It is designed to enable massive network automation through programmatic extension, while still supporting standard management interfaces and protocols (e.g. NetFlow, sFlow, SPAN, RSPAN, CLI, LACP, 802.1ag).”

3.1. Scenario

Our testing environment (see Fig. 3) was designed as a initial prototype scenario to benchmark OVS. It consists of three Virtual Machines (VMs) in the same host. The first one, named *Source*, contains an Agent triggering probers to generate traffic as benchmarking stimulus in the second VM. There, OVS is the SUT attached to two interfaces interconnecting two isolated networks, between the first and third VMs. Alongside OVS, there is a Monitor component executing the listeners that measure resources consumption in the VM. In *Destination*, third VM, an Agent is placed, providing probers that might be used to benchmark OVS. In the host, Player and Manager are executed, communicating with all the other Gym components via an isolated management network.

Each VM has 1 core of CPU, 2048 MB of memory and 15 GB of disk allocated. Ubuntu Server version 16.02TLS is the default operating system in all VMs, which also only contain the necessary packages to run Gym components, with the exception of *SUT*, where OVS version 2.5.0 is additionally installed. Proper configurations of routing and ARP tables were done in *Source* and *Destination* to be pairwise reachable, and flow entries were set in OVS to forward traffic in forth and back directions between the VMs based on their attached ports, source and destination IP and MAC addresses.

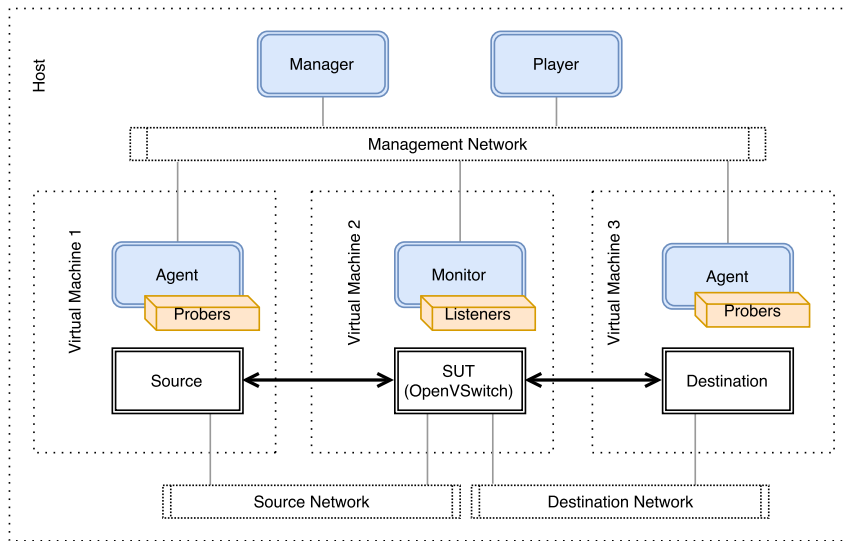


Figure 3. Open vSwitch Benchmarking Scenario

3.2. Methodology

Initially, a deep analysis on the literature gave us glimpses of OVS benchmarking, meaning the approach we used to extend Gym and create a methodology for the experiments. Being widely used and in high level of maturity, *pktgen* was our target tool to stimulate OVS. We adopted a well-known interface in python language, known as *psutil* library, to monitor OVS resources consumption, as an internal instrumentation method. For Gym, it meant creating a new prober for *pktgen* and a new listener for *psutil*. Their parameters and output metrics are presented in Table 1.

Table 1. Gym extensions: metrics and parameters

	prober <i>pktgen</i>	listener process
Parameters	{{ device }} {{ duration }} {{ frame_size }} {{ source_ip }} {{ source_mac }} {{ destination_ip }} {{ destination_mac }}	{{ pid_name }} {{ interval }} {{ duration }}
Metrics	packets_sent packets_per_second bits_per_second megabits_per_second errors	cpu disk memory

Along with such extensions, main design principles of Gym come to the scene, where *Sketches* were composed to define the OVS testing *Outline*, presented in Fig. 4 in YAML¹ format. In details, a *sketch* contains unique a identifier and name, inputs that will be used to fill the required parameters, requirements defining Gym components and their respective probers/listeners type (unique identification in Gym tools catalog). In addition, taking a *uuid*, internally unique identifier in the *sketch*, parameters can be set by inputs that will represent the prober/listener or host configurations. For instance, in

¹<http://www.yaml.org/>

listener process *sketch*, the *host* input, if defined, can specify the hostname in which the listener process is desired to be executed.

Open vSwitch composed *Outline* has a different structure. Besides, identifier, name and inputs, it also contains: *vars* that might be used internally; *groups* that can compose groupings of hosts to be used as inputs in sketches (e.g., when multiple agents in different hosts are required to run the same prober(s)); *sketches* containing the reference to filename of the *sketch* and its respective input fields; and *cycles* defining temporal parameters to characterize the decomposition of the *outline* into *tasks*.

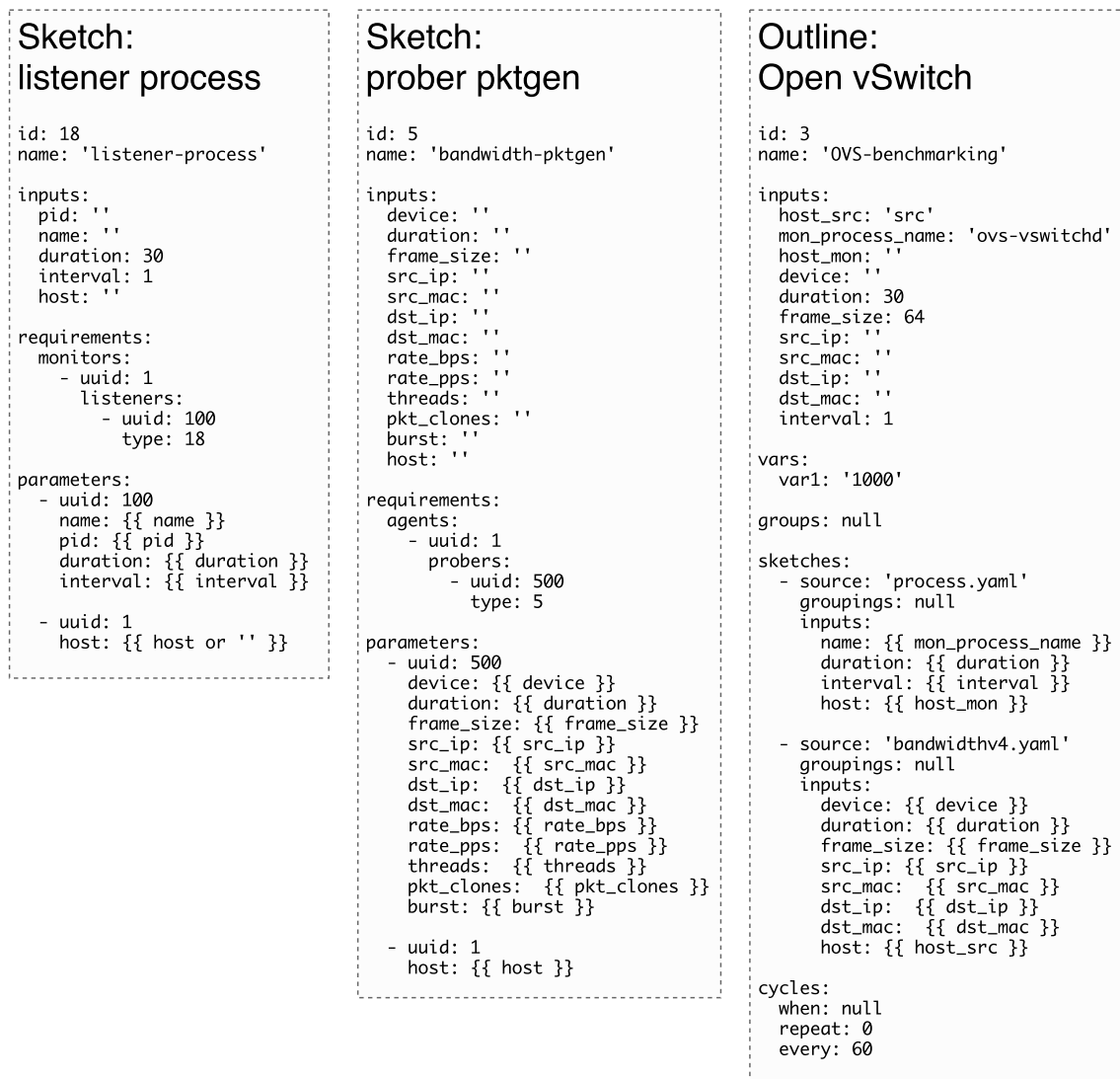


Figure 4. Open vSwitch Sketches and Outline

In details, a *sketch* can contain reference to a set of requirements (e.g., multiple Agents and/or Monitors and respective probers/listeners), and *outline* can be composed by any structure of *sketches* and their respective inputs. So far, inputs are not defined as mandatory or optional, but full freedom is given on such specification to developers compose *sketches* and *outlines* with their own custom needs. In *outlines*, groups can be composed by a list of hosts that, when used as input parameter in a *sketch*, will define that

every required host will attend the desired *sketch* requirements equally and, therefore, execute in parallel the same set of probers/listeners.

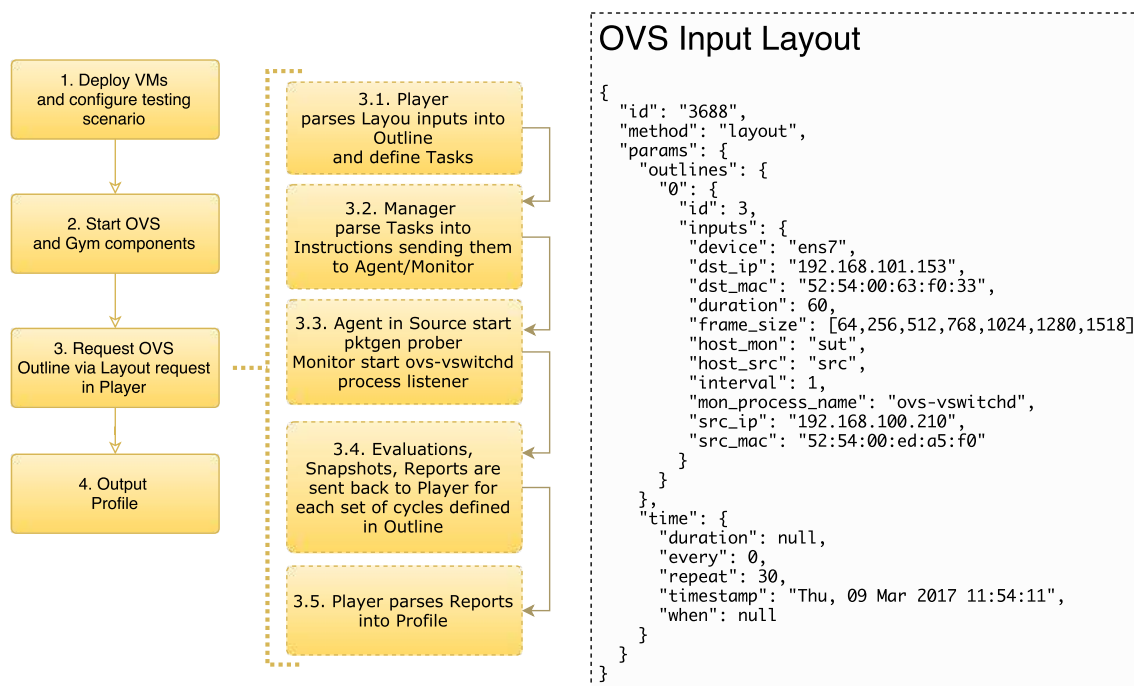


Figure 5. Open vSwitch Benchmarking Methodology

Figure 5 present the methodology created to execute the prototype benchmarking tests alongside the *Layout* (JSON format) that Gym receives in Player to trigger the execution of the tests with the required input parameters. It is important to note the identifier of the *outline* with its input parameters are provided in the *Layout*. Note the field *frame_size* where a list of items was defined and in *cycles* the parameter *repeat* equals 30. With such inputs, Player will identify the required *Outline*, set its inputs, checking *frame_size* as being a list, and create for each of the items in that list, a *task* to be sent to Manager. As *repeat* input is set to 30, every task will be sent thirty times.

Finished the execution of the experiments triggered by the input *Layout*, results are visualized using the Kibana² interface, as Player saves all output Profiles in Elasticsearch database³. Following the syntax query provided by such tools, multiple combinations of metrics can be visualized in a variety of graphic formats (e.g., table, pie chart, areas/lines, time series, etc). In addition, queries to the database can be done using Elasticsearch syntax to retrieve *Profile* results and create custom graphics with any other set of tools (e.g., export to CSV).

3.3. Experimental Analysis

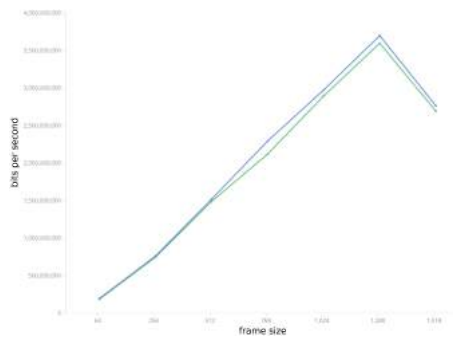
Figure 6 presents filtered results in a series of graphics. According to *pktgen* prober input parameters, only duration, frame size, IP and MAC (source and destination) addresses were provided for UDP packets being sent for 60 seconds at the maximum rate allowed.

²<https://www.elastic.co/products/kibana>

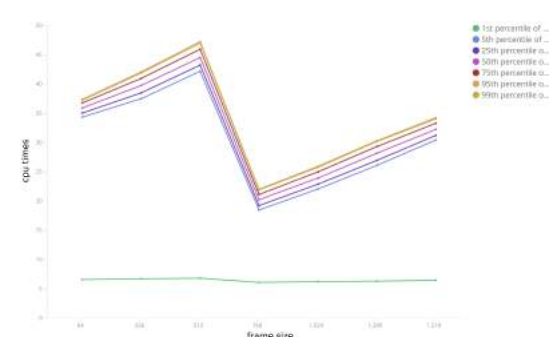
³<https://www.elastic.co/products/elasticsearch>

Figure 6(a) shows a correlation between the increase in the frame size and bits per second (upper and lower standard deviation) registered by *pktgen* output metrics. In the resource consumption perspective, *ovs-vsitchd* was monitored while *pktgen* generated traffic in OVS SUT. Fig. 6(b), gives an indication of CPU consumption by *ovs-vsitchd*, showing how much CPU times were consumed in different percentiles by each different stimulated frame size traffic.

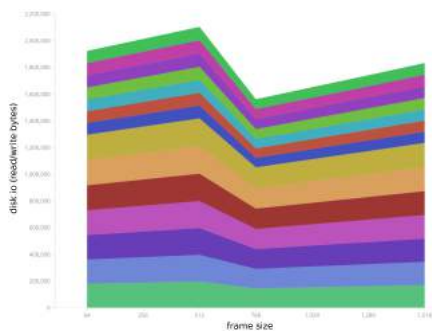
Figure 6(c) shows disk Input/Output read and write of bytes in different percentiles according to the stimulated *pktgen* traffic frame sizes. Fig. 6(d) similarly shows how different frame sizes trigger the usage of a different amount of threads used by the process *ovs-vsitchd*. And in the last two Figures, 6(e) and 6(f), visually it is possible to notice that different frame sizes did not incur in alterations in the levels of percentage of memory and swap by *ovs-vsitchd* process.



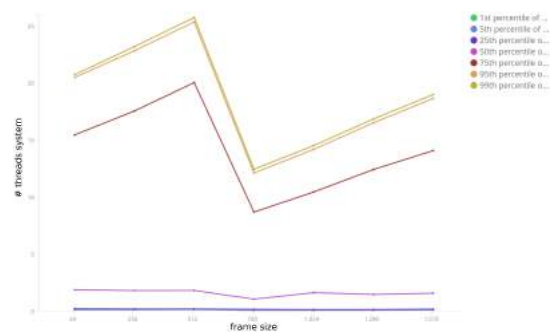
(a) Frame size vs. bits per second



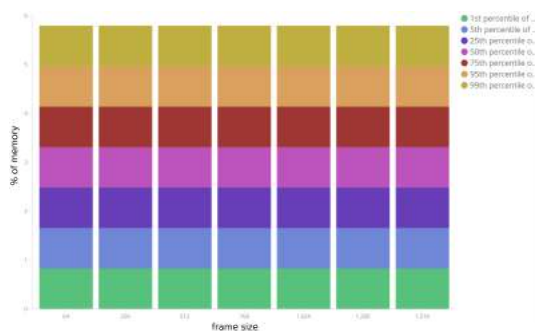
(b) Frame size vs. CPU times



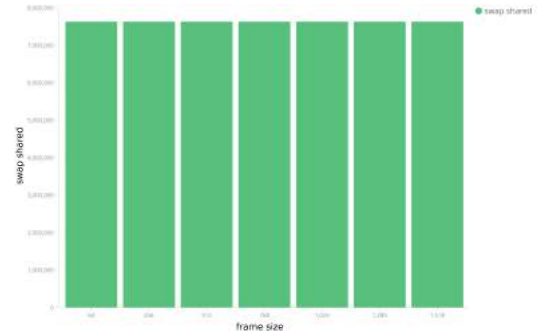
(c) Frame size vs. Disk I/O



(d) Frame size vs. CPU system threads



(e) Frame size vs. Memory



(f) Frame size vs. Swap

Figure 6. Results: Open vSwitch Output Profile

4. Discussion

As an initial scenario of benchmarking testing, the prototype under evaluation presents measurements exhibiting expected behaviors. An increased level of bandwidth was seen as frame sizes were increased, not affecting the memory or swap consumption by the main OVS process, however leading similar patterns of behavior in CPU and disk I/O consumption, possibly triggered by internal OVS caching behaviors. A limitation of bits per second was seen in frames with 1518 bytes, however further analysis is needed to explain if OVS could not handle such traffic workload or the *Source* VM was the bottleneck due to the allocated resources hampering the *pktgen* prober to operate at full capacity.

4.1. Gym Design Principles Assessment

While our experimental methodology was carried on a limited set of VMs and a small combination of Gym components, the experiences benchmarking OVS give us some inputs for an initial critical analysis on Gym design principles.

- * *Comparability*: all presented results were extracted from the obtained OVS Profile by Gym Player component. The presented data could be exported in various file formats with multiple combinations of metrics association. In our case, it was graphically shown in Fig. 6. Therefore, any logical data parsing method can be formalized based on the flexibility of Gym saving Profiles in Elasticsearch database.
- * *Configurability*: on designing the *Sketches* and *Outline* to benchmark the OVS, total freedom of choice to program customized experimentation methodologies was possible by deploying diverse requirements and input parameters associated with multiple Gym components. Full autonomy is given here to developers compose their own custom sets of test recipes in *sketches* and *outlines*.
- * *Repeatability*: using Gym and the same testing scenario, the *sketches* and *outline* developed for our benchmarking tests can be used repeatedly to replicate the presented results. Besides, with the modification of the running scenario our running experiments can be easily replicated (e.g., in case OVS were deployed in container by Kubernetes orchestrator).
- * *Interoperability*: all Gym components can be deployed in heterogeneous environments (i.e., main requirements sit on support of the Python programming language). In addition, multiple new technologies can be attached to Gym as southbound interfaces in probers/listeners, and northbound APIs over Player.

4.2. On Automating VNF Benchmark

After identifying Gym design principles in sustaining main arguments towards its usage in benchmarking VNFs, below we introduce some topics and analysis regards bringing automation mechanisms to benchmarking.

Scenario: network function as well source and destination traffic components might be virtualized or not. Commonly seen bare-metal black-box based benchmarking methodologies distinguish from virtualized scenarios where, nowadays orchestration platforms (e.g., OpenStack, Juju, Kubernetes) might be used to deploy the experimental scenario. Our beliefs with Gym follow such separation between scenario and experiments configuration/execution in order to create test modularity, flexibility and agility – practices commonly seen and needed in (DevOps) continuous development and integration of VNFs.

Gym, comes as a standalone framework useful in orchestrated scenarios (virtualized or not) to compose new probers/listeners, custom *sketches*, *outlines*, and output test Profiles.

Configuration: tests might need particular set of custom configurations in the underlying hardware capabilities and in the VNF itself (e.g., as made before benchmarking OVS). Configuration scripts might enhance the capabilities offered by different scenarios (e.g., use huge pages of memory) and procedures taken to optimize hardware and software components (e.g., custom DPDK parameters) for high performance measurements. Besides, even during series of tests, routine procedures might be needed to adjust SUT and execution environment for continuous automated benchmarks (e.g., clear memory caches, reinstall flow entries, restart monitoring processes). Gym currently lacks such features, however our development views aim integrating current DevOps frameworks (e.g., Puppet⁴, Chef⁵ and Salt⁶) for automated configuration of tests.

Execution: Gym poses APIs and information models open for extension, and its flexible messaging model based on JSON-RPC allows full customization of the entire framework. In discussed topics composing experimentation methodologies (i.e., comparability, configurability, repeatability, interoperability), Gym allows high degree of testing composition and expressiveness via *sketches* and *outlines*, at same time that provides interfaces (probers/listeners) to any sort of benchmarking tools (virtualized or not). Taking those features in consideration, present Gym automation can allow the extraction of new types of testing strategies (e.g., measuring system failure/errors, VNF elasticity, noisy behavior, etc [Morton 2016]). Moreover, Gym is currently receiving new management and operational features (e.g., debugging, controllability, reconfigurability, etc).

Output: Among the main features required in testing frameworks, plotting visual interfaces are extremely necessary. Graphically, behavior patterns and outliers can be easily identified. Visually speaking, many graphic libraries can be attached to Gym, as it allows VNF Profiles to be saved in different file formats, and always be added to Elasticsearch database. Timestamps are defined in each JSON-RPC reply message, meaning all of them (evaluations, snapshots, reports and profiles) can be granularly plotted in time series. Current Kibana integration allows a high degree in creating visualization graphics and dashboards of VNF Profiles. In addition, specialized analytics methods (e.g. clustering) are being introduced in Gym extensions, specially focused on creating new automated visual possibilities of Profiles to better examine VNFs performance.

5. Related Work

Existing open source projects sprint common abstractions for benchmarking VNFs and their underlying infrastructure. In OPNFV, highlights go for three of them. Yardstick⁷ targets infrastructure compliance when running VNF applications. QTIP⁸ approaches provides definitions towards platform performance benchmarking. Whereas Bottlenecks⁹ proposes a framework to execute automatic methods of benchmarks to validate VNFs deployment during staging.

⁴<https://puppet.com/>

⁵<https://www.chef.io/chef/>

⁶<https://saltstack.com/>

⁷<https://wiki.opnfv.org/yardstick>

⁸<https://wiki.opnfv.org/display/qtip/Platform+Performance+Benchmarking>

⁹<https://wiki.opnfv.org/display/bottlenecks>

Closest to our efforts, OPNFV VSperf project¹⁰, with experiences described in [Tahhan et al. 2016], presents “an automated test-framework and comprehensive test suite based on industry standards for measuring data-plane performance of Telco NFV switching technologies as well as physical and virtual network interfaces (NFVI)”. VSperf gives the freedom to test-customizations (e.g., software components, load generators) being suitable for different switching technologies in a telco NFV environment.

Recently, Canonical released a set of solutions to use Juju, its service modeling and execution platform, to create the means to leverage their automated cloud deployment services with benchmarking instruction and action models¹¹. Therefore, benchmarks can be composable against a variety of hardware configuration, architecture, and cloud applications. In addition, an independent but related effort is ToDD¹², which walks in the direction of an on-demand distributed and highly extensible framework for distributed capacity and connectivity testing.

6. Conclusion and Future Work

In consequence of NFV evolving technologies to design suitable carrier-grade VNFs execution, and while agility is needed for the recognition of their adequate placement capabilities, ways of identifying correlations between packet processing performance and resources allocation are open research fields advocated in this paper. Following this path, we introduce Gym, a testing framework for automated NFV performance benchmarking. Based on the current motivations of developing VNF benchmarking methodologies in standards organizations (e.g. IETF), we pose Gym in face of Open vSwitch. Through Gym design principles assessments, we highlight the freedom of modularity in composing benchmarking tests for software switches and retrieving measurements for proper analysis and graphical results. Presented experiments show a fair evaluation of OVS with current state-of-the-art software switch benchmarking literature. Additionally, reviewing Gym design principles and automation topics, critical analysis of the efforts so far prototyped in Gym indicate it as a prominent VNF benchmarking framework.

We believe the concepts introduced in this paper might help on the understanding developments of standard VNF benchmarking methodologies in a broad sense, taking into account latest efforts made by ETSI and IETF/IRTF. Fully intended to free Gym as an open source project, our future goals sit on developments of new probes/listeners altogether with *sketches* and *outlines* that might evolve Gym components in order to create methodologies for reproducible research methods in what concerns VNF testing. Moreover, Gym output Profiles can assist the formalization of standard representation methods of VNF testing results, walking in the direction of an envisioned common repository of such data, being open for analysis in a diverse set of applications (e.g., VNF DevOps processes).

7. Acknowledgements

This research was partially supported by the Innovation Center, Ericsson S.A., Brazil, grant UNI.58.

¹⁰<https://wiki.opnfv.org/display/vsperf/VSperf+Home>

¹¹<http://benchmarking.juju.solutions/>

¹²<https://github.com/toddproject/todd>

References

- Emmerich, P., Gallenmüller, S., Raumer, D., Wohlfart, F., and Carle, G. (2015). Moon-
gen: A scriptable high-speed packet generator. In *Proceedings of the 2015 Internet
Measurement Conference, IMC '15*, pages 275–287, New York, NY, USA. ACM.
- ETSI GS NFV-TST (2016). ETSI GS NFV-TST 002 V1.1.1 - Report on NFV Interoper-
ability Testing Methodology.
- Jain, S., Kumar, A., Mandal, S., Ong, J., Poutievski, L., Singh, A., Venkata, S., Wanderer,
J., Zhou, J., Zhu, M., Zolla, J., Hözl, U., Stuart, S., and Vahdat, A. (2013). B4: Expe-
rience with a globally-deployed software defined wan. *SIGCOMM Comput. Commun.
Rev.*, 43(4):3–14.
- Molnár, L., Pongrácz, G., Enyedi, G., Kis, Z. L., Csikor, L., Juhász, F., Kőrösi, A., and
Rétvári, G. (2016). Dataplane specialization for high-performance openflow software
switching. In *Proceedings of the 2016 ACM SIGCOMM Conference, SIGCOMM '16*,
pages 539–552, New York, NY, USA. ACM.
- Morton, A. (2016). Considerations for benchmarking virtual network functions and their
infrastructure. IETF BMWG: Internet draft.
- Pfaff, B., Pettit, J., Koponen, T., Jackson, E., Zhou, A., Rajahalme, J., Gross, J., Wang,
A., Stringer, J., Shelar, P., Amidon, K., and Casado, M. (2015). The design and imple-
mentation of open vswitch. In *12th USENIX Symposium on Networked Systems Design
and Implementation (NSDI 15)*, pages 117–130, Oakland, CA. USENIX Association.
- Raumer, D., Gallenmüller, S., Wohlfart, F., Emmerich, P., Werneck, P., and Carle, G.
(2016). Revisiting benchmarking methodology for interconnect devices. In *Proceed-
ings of the 2016 Applied Networking Research Workshop, ANRW '16*, pages 55–61,
New York, NY, USA. ACM.
- Rosa, R. V., Rothenberg, C. E., and Szabo, R. (2015a). VBaaS: VNF Benchmark-as-a-
Service. In *2015 Fourth European Workshop on Software Defined Networks*, pages
79–84.
- Rosa, R. V., Rothenberg, C. E., and Szabo, R. (2015b). VNF Benchmark-as-a-Service.
IRTF NFVRG: Internet draft.
- Rosa, R. V., Rothenberg, C. E., and Szabo, R. (2016). VNF Benchmarking Methodology.
IETF BMWG: Internet draft.
- Tahhan, M., O'Mahony, B., and Morton, A. (2016). Benchmarking virtual switches in
opnfv. IETF BMWG: Internet draft.

Dark Think Security: Enhancing the Security for the Autonomous Architecture over a Restricted Domain

Julião Braga¹, Rafael de Amorim Silva², Patricia Takado Endo³, Nizam Omar⁴

¹ VRS at University of Saskatchewan
PPGEEC-UPM
Sao Paulo, SP, Brazil

²Federal University of Alagoas (UFAL)
Maceio, AL, Brazil

³Pernambuco University
Recife, PE, Brazil

⁴Mackenzie Presbyterian University
Sao Paulo, SP, Brazil

juliao@braga.net.br, rafael@ufal.br, patricia@upe.br

nizam.omar@mackenzie.br

Abstract. *This paper describes a security scheme called Dark Thing Security, to be used in the autonomous architecture model over a restricted domains. Such a scheme provides strong security due to its ability to hide intelligent agents from the implementation of the model. Several intelligent agents are distributed in the environment of an Autonomous System, being accessed only through agents of the upper layer. Such upper layer agents, called controllers, are replaced by more enabled agents, over time, making it difficult for unauthorized agents to gain access from other domains.*

Resumo. *Este paper descreve um esquema de segurança chamado Dark Thing Security, para ser utilizado no modelo de arquitetura autônoma sobre um domínio restrito. Tal esquema provê segurança forte devido a sua capacidade de esconder os agentes inteligentes, da implementação do modelo. Vários agentes inteligentes são distribuídos no ambiente de um Sistema Autônomo, sendo acessado somente através de agentes da camada superior. Tais agentes da camada superior, denominados controladores são substituídos por outros mais habilitados, ao longo do tempo, dificultando tentativas de acesso por agentes não autorizados, a partir de outros domínios.*

1. Introduction

Paul Horn, in 2001, inspired by the living system physiology presented an IBM proposal for the future of computer systems [Horn 2001]. His work argued that the efforts of specialists in the maintenance, control and operation of computer systems could be minimized and consequently have their costs reduced dramatically. The community, composed mainly of researchers continued to advance in the researches of this knowledge domain becoming a paradigm named by Horn as **Autonomic Computation**.

Contributions have been expanded by multidisciplinary research groups and the results have been surprising [Movahedi et al. 2012]. A number of applications, particularly in software, have enabled, for example, the technology of space probes [Sterritt and Hinchey 2005], rather Unmanned Space Vehicles (USVs) [Insaurralde and Vassev 2015].

The interest aroused has led to the application of Intelligent Agents or Intelligent Elements (IEs) in the Infrastructure of the Internet. *An Agent is something that perceives and acts in an environment and can improve their performance through learning* [?]. This research concentrates basically on the protocols and techniques like Software Defined Networking (SDN) [Shukla 2014, Nadeau and Gray 2013, Wickboldt et al. 2015]. It is important to develop case studies and experiments on the entire spectrum of applications for the Internet Infrastructure. In this sense, the renewed experience and expansion of research groups will make an effective contribution to improving and consolidating the studies that are being carried out to date, especially the principle of interdisciplinary cooperation.

This work is presented as follows. Section 2 presents essential foundations to understand autonomic computing. Section 3 describes the dark thing security model, emphasizing structural and operation aspects. Section 4 addresses the application of the proposed model into IoT scenarios, exemplifying how the agents establish communication inside a secure zone. Section 5 presents the final considerations of this paper.

2. The Application Domain and its characteristics

The Autonomous Architecture over a Restricted Domain (A2RD) model [Braga et al. 2015] is presented in Figure 1 and divided into four layers, described below. The model serves the interest of establishing an architecture of intelligent elements under the administrative domain of ASs, which is known as the designation given to the networks that form the Internet.

The model can exist in any of the 2^{32} possible ASs [Hawkinson and Bates 1996]. However, on 02/03/2017 there were 56,710 active ASs on the Internet (originating traffic), according to CIDR-report¹. The number of an AS is unique, controlled by the Regional Internet Registers (RIRs) and / or National Internet Registers (NIRs) and is called the Autonomous System Number (ASN). Thus, the largest possible value of x is 56710, corresponding to AS56710, at the date above. There is no conflict between the model being deployed in any AS environment and being domain-restricted. In fact, the implementations are independent, but with a high degree of interoperability and, of course, intense cooperation, because ASs administrators depend on the behavior of all the others. The IANA has reserved two contiguous ranges of ASs numbers for private use [Mitchell 2013]: 64512-65534 and 4200000000-4294967294. Conveniently, these ASs numbers can be used to designate Intelligent Elements in applications that need to represent sub-domains.

The first of the four layers hosts the Intelligent Element (IE) named **Controller**. Its identification is unique and definitive: $x:0$, that is, the number **0** placed to the right side of the symbol **:**, following by the ASN that hosting the model. Sometimes, to make clear which IE is being referenced, **IE** is used before the identification, as for example,

¹<http://www.cidr-report.org/as2.0/>

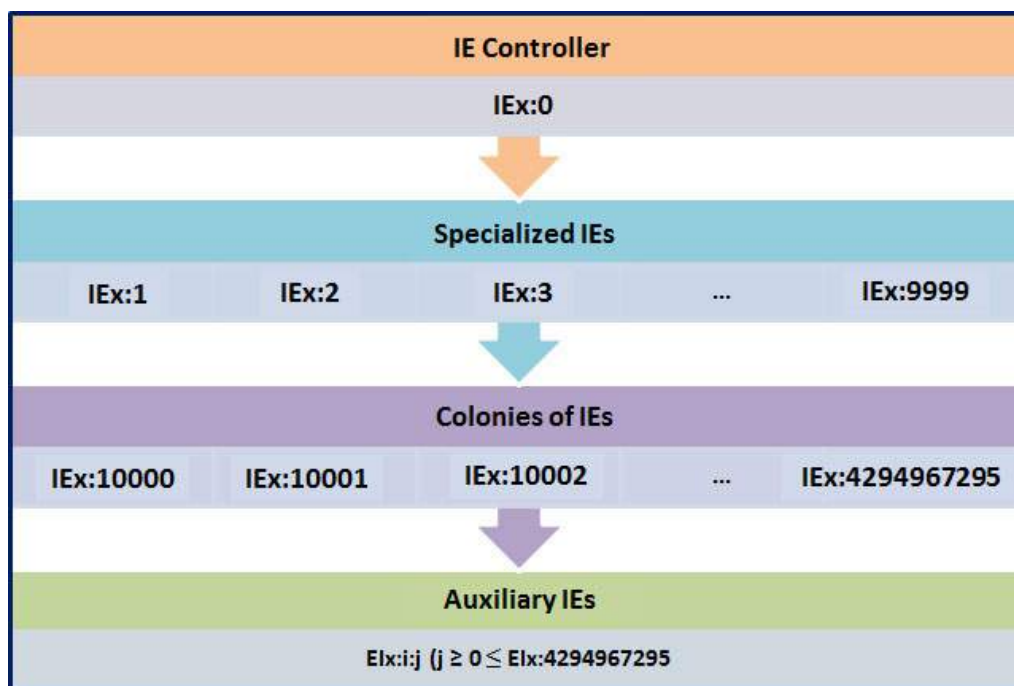


Figure 1. Four Layer Abstract Model of Autonomous Architecture for Restricted Domains (A2RD). Source: [Braga et al. 2015]

when affirming that the IE Controller is **IEx:0**. Thus, if **AS5** is the host domain of the model, then the controlling element is **IE5:0**. No IE of the lower layers can exist, without the prior consent of the IE Controller. It has the property of keeping oneself organized (self-organization) and ensuring the self-organization of any IE of the lower layers.

The second layer is represented by the so-called **Specialized IEs**. These elements are identified by suffixes that can range from **1** to **9999**. The specialized elements support the IE Controller, in specific activities and necessary to the respective functionalities. These activities range from ensuring the interoperability of the entire system of implemented IEs to the establishment of specific functionalities, such as servers with end-to-end characteristics [Saltzer et al. 1984], database access functionalities and semantic repositories, proprietary software (similar to Southern SDN APIs), features required for lower-layer IEs, and many others. However, support for the IE Controller is the primary objective of the Specialized IEs. This objective determines the functionalities of the second layer. It is assumed that some Specialized IEs may be Autonomic Elements or intelligent elements that execute automatic processes, such as proprietary software and procedures associated with legacy systems, among others. A Specialized IE can be created as a function that only concerns the IE Controller, especially when it depends on the functionalities of IEs of the third layer.

In the third layer lies the largest IEs agglomeration, which is why it is called the **Colonies of IEs**. Elements of this layer can be autonomous, autonomic or automatic, except legacy and are directly responsible for the most important activities of the application, including software reuse. They act under the influence of a high degree of interoperability and cooperation between them and between IEs of other layers and other domains / sub-domains. They do not directly participate in interconnections or exchange messages with

other IEs outside the domain, but they do so through the IEs of the upper layers. There is intense semantic interoperability activity by these IEs, which have a high capacity for self-learning due to continuous interactions with the domain environment, and produce improvement effects on the knowledge of other IEs of the colony itself and the IEs of the upper layers, IE Controller. In other words, these IEs favor the learning of the entire cluster of IEs of the layer model, which hour is being described. The IEs of the colonies receive an identification with numeric suffixes, ranging from **10000** to **4294967295**.

The fourth layer is composed of **Auxiliary IEs**. This layer exists to allow the transfer of computing demands to a new set of IEs (successiveness of the model). It reproduces, successively, the first, second, third and a new fourth layers. This new IEs sequence has an additional suffix **:j:0** for a new IE Controller responsible for the following four new layers. In the new second, third and fourth layers, the IDs of the IEs are post fixed with **:j:id**, where **j** is a colony IE number that originated the new fourth layer and the **id** is a number with the above specifications. A typical application for the fourth layer are sub domains, such as home networks (home net).

The Figure 2 is the A2RD implementation model, where the small and colored rectangles are IEs. The IEs are arranged and distributed among the layers, similar to the abstract model. As an example, IEs are implemented in the domain of an AS whose number is **x**. In the same figure, one can observe that the IEs functionally is important for the inter-domain operations reside into the upper layers.

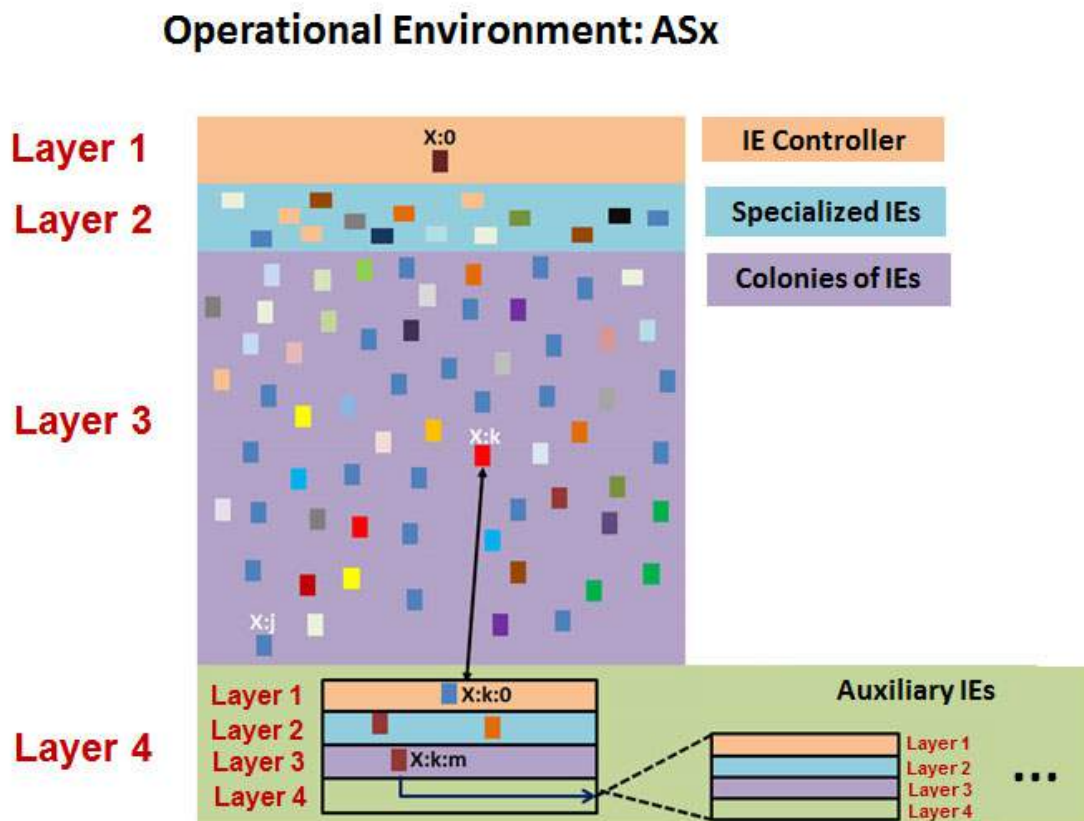


Figure 2. A2RD Implementation Model. Source: [Braga 2015a] [Braga et al. 2015]

The implementation model that a classification of relevance is the intensity of aggregation that an IE has in relation to the **self-*** properties. If an IE, however, has some self-organizing capability, it must participate directly linked to the IE Controller. Even if you participate in the layer of Auxiliary IEs there may be a new IE Controller that logically builds a new layer architecture. And so on.

On the other hand, the representation of the model is logical (abstraction of the physical implementation). Physically, locating an IE in the domain environment is essential. The best alternative is IP addressing, preferably IPv6, for availability reasons. The IE Controller must maintain a table associating the logic reference with the IP designated by the IE Controller itself, from the premise that an IPv6 block must be available at the beginning of the implementation. However, this is not a fundamental issue, because as will be seen in next section, in the name of security an IP relation as the IE ID will be available in a primitive Domain Name System (DNS), the hosts file allocated internally and with direct link to the IE Controller.

3. Dark Thing Security

The DTS model is a security scheme that protects the majority of intelligent elements from an A2RD architecture, hiding their IP addresses from the external access. This model only guarantees the IP of the IE Controller is externally visible and can be the interface of its host. In this case, the access or the interconnection to the IE Controller by other domains must have a security mechanism such as the Resource Public Key Infrastructure², with certification servers available in different RIRs (e.g. LACNIC³, responsible for covering all the Latin American and Caribe regions). Figure 3 illustrates this unique visibility through a black box model, which protects all the IEs from the external attacks by hackers.



Figure 3. The Dark Thing Model for the A2RD

The IE **X:0**, as well as any IE can replicate itself in the dark environment of the figure. At any time, **X:0** can replace itself or be replaced by some other IE whenever necessary, such as if a Cyclic Redundancy Check (CRC) is used on the IE code and, in the event of an undesirable interference.

To illustrate the behavior of DTS, we will assume a scenario in which IE **X:0** must deal with the problem of source validation. In other words, IE **X:0** should ensure that an IE from another domain wants, for some reason, to bring an IE enabled in the creation

²<http://www.lacnic.net/en/web/lacnic/informacion-general-rpki>

³<http://www.lacnic.net/en/web/lacnic/certificacion-de-recursos-rpki>

of the **route**⁴ object to any Internet Routing Registry (IRR) server. Some considerations should be taken into consideration for understanding what will be said:

- RPKI is one of the alternatives to the origin validation problem, but not the only one.
- When an A2RD model is implemented it announces the IP block (preferably IPv6) for all existing A2RD implementations.
- For the purpose of the example that illustrates the DTS operation, the local ASN is the AS64512 and the remote ASN is the AS64513, both private AS numbers.
- When used the notation **64512:n** or **64513:n** for any **n**, it is the same as **IE 64512:n** or **IE 64513:n**.
- The word **bootstrapping** can refer to the development of successively more complex, faster programming environments⁵. So, the word will be used in the sense of self-replacing the code of an IE by other specialized IE code. The **bootstrapping** activity happens systematically into the DTS model.

The Figure 4 displays the activities within the DTS. The only IE that accepts a request for external interconnection to the domain or even from some component of the local domain is 64512:0. Any IE is highly specialized and contains the minimum required code to meet the demand of your expertise.

- B0:** 64512:0 is waiting for some activity.
- B1:** 64513:n try to connect 64512:0.
- B2:** 64512:0 bootstrapping by 64512:1 which has the ability to identify whether the source IP belongs to the AS64513 domain.
- B3:** If the IP does not belong to AS64513 then bootstrapping the 64512:0 .
- B4:** 64512:1 bootstrapping 64512:101 whose ability walks over the BGP path attribute to confirm the presence of AS64512.
- B5:** If the AS64512 has no presence in BGP path attribute, them bootstrapping 64512:0.
- B6:** 64512:101 bootstrapping 64512:102 that has the ability to verify the RPKI for AS64512 based in IP captured.
- B7:** If RPKI is denied then bootstrapping 64512:0
- ...
- Bn:** 64512:5900 bootstrapping 64512:0.

Figure 4. IE bootstrapping

This algorithm refers to Figure 5, which illustrates the relationship of the bootstrapping process of the involved IEs.

4. Concluding Remarks

There are many challenges to the progress of the project. Among them is the construction of the vocabulary (set of words and their meanings) that can meet the demand of the construction of ontologies in the area of Internet Infrastructure. The development of this

⁴<http://bit.ly/2nRP9IH>

⁵<https://en.wikipedia.org/wiki/Bootstrapping>

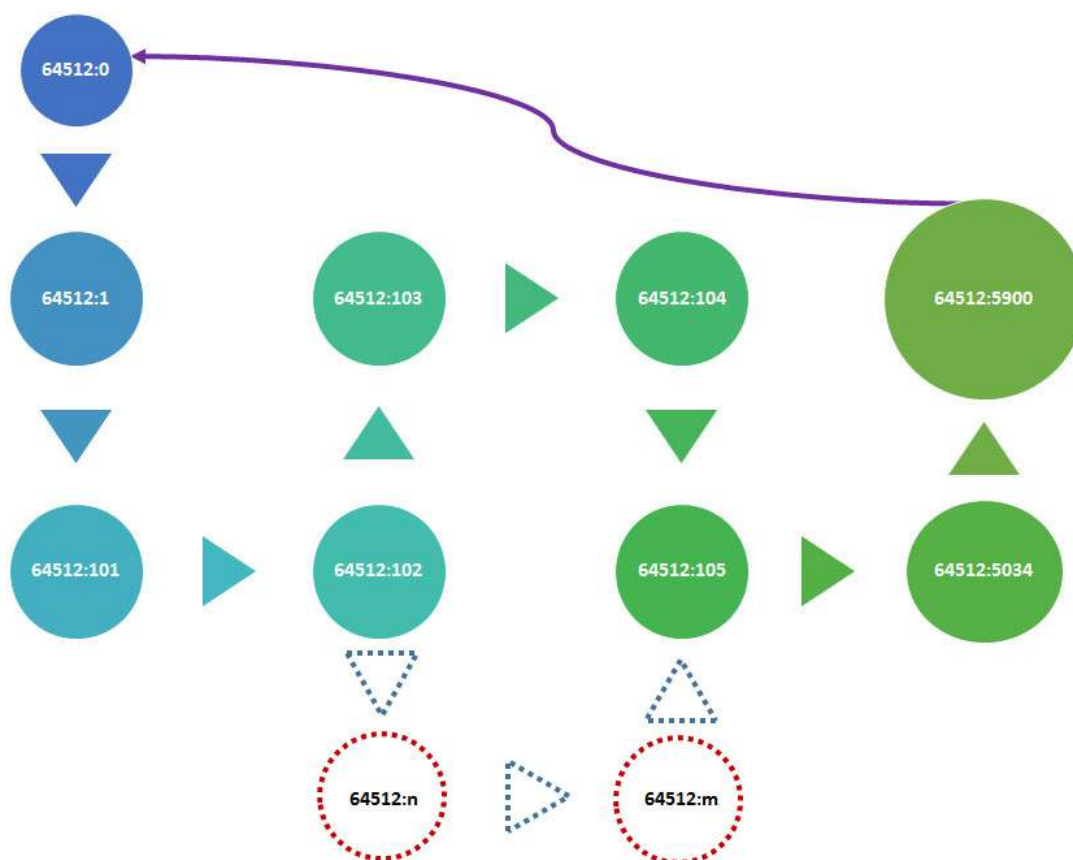


Figure 5. Bootstrapping $IE\ X : 0$ execution model, where $X = 64512$, a private AS number

vocabulary should be cooperative and, although there are initiatives of researchers in the area of Internet of Things (IoT) [Hachem et al. 2011], and by those interested in the Internetware paradigm of the Context Aware Supporting Environment for Internetware⁶ (CASEi), the authors find to have a central coordination, such as the Internet Research Task Force (IRTF), through a multi-stakeholder group. As future work the authors recommend analyzing the performance of the proposed methodology.

Without exhausting other proposals it is necessary to develop methodologies for the construction of IEs, in this case, identified as **Intelligent Objects** (IOs). IO is an intelligent element built with quality, reusable and preserving the knowledge of its life cycle, in the context of A2RD model applications, strengthening the security environment proposed by the DTS model and other related models. Construction of IOs, in an adequate and standardized manner induces interdisciplinary cooperation and rapid development of IEs. One proposal would be to use the methodology INTERA [Braga 2015b], adapted to the construction of IOs. INTERA is a successful methodology used in Learning Objects.

References

Braga, J. (2015a). Modelo para Implementação de Elementos Inteligentes em Domínios Restritos da Infraestrutura da Internet. Master's thesis, Universidade Presbiteriana

⁶<https://code.google.com/p/casei/>

Mackenzie, São Paulo, SP.

- Braga, J. (2015b). *Objetos de Aprendizagem: Metodologia de Desenvolvimento*. Editora da UFABC, São Paulo, 1 edition.
- Braga, J., Omar, N., and Granville, L. Z. (2015). Uma proposta para o uso de elementos inteligentes em domínios restritos da infraestrutura da internet. In *Anais CSBC 2015 - WPIETFIRTF*, Recife, Pernambuco, Brasil.
- Hachem, S., Teixeira, T., and Issarny, V. (2011). Ontologies for the internet of things. In *Proceedings of the 8th Middleware Doctoral Symposium*, page 3. ACM.
- Hawkinson, J. and Bates, T. (March 1996). Report on MD5 Performance . Technical report, RFC Editor. RFC1930. <https://tools.ietf.org/rfc/rfc1930.txt>.
- Horn, P. (2001). Autonomic computing: Ibm’s perspective on the state of information technology.
- Insaurralde, C. C. and Vassev, E. (2015). Autonomic computing software for autonomous space vehicles. In *Nature of Computation and Communication*, pages 33–41. Springer.
- Mitchell, J. (July 2013). Autonomous System (AS) Reservation for Private Use. Technical report, RFC Editor. RFC6996. <https://tools.ietf.org/rfc/rfc6996.txt>.
- Movahedi, Z., Ayari, M., Langar, R., and Pujolle, G. (2012). A survey of autonomic network architectures and evaluation criteria. *Communications Surveys & Tutorials, IEEE*, 14(2):464–490.
- Nadeau, T. D. and Gray, K. (2013). *SDN: Software Defined Networks*. O’Reilly, USA, 1 edition.
- Saltzer, J. H., Reed, D. P., and Clark, D. D. (1984). End-to-end arguments in system design. *ACM Transactions on Computer Systems (TOCS)*, 2(4):277–288.
- Shukla, V. (2014). *Introduction to Software Defined Networking*. Amazon, USA, 1 edition.
- Sterritt, R. and Hinchey, M. (2005). Engineering ultimate self-protection in autonomic agents for space exploration missions. In *Engineering of Computer-Based Systems, 2005. ECBS’05. 12th IEEE International Conference and Workshops on the*, pages 506–511. IEEE.
- Wickboldt, J. A., De Jesus, W. P., Isolani, P. H., Bonato Both, C., Rochol, J., and Zambenedetti Granville, L. (2015). Software-defined networking: management requirements and challenges. *Communications Magazine, IEEE*, 53(1):278–285.

Cidades Inteligentes: Uma arquitetura de Gerenciamento Autônoma no Contexto de IoT

Pablo Tibúrcio¹, Marcelo Santos¹, Stênio Fernandes¹

¹Centro de Informática (CIn) – Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)
Recife – PE – Brasil

{pgst,mabs,sflf}@cin.ufpe.br

Abstract. *Network infrastructure management is a critical area for the maintenance of the network and quality of services provided by networks. This management has become quite complex as networks become larger and more heterogeneous. Thus, it increases the costs of management and the possibility of human error as well. Internet of Things (IoT) is an environment that offers these challenges. Management in IoT combines network infrastructure and node (end devices) management. Smart City (SC) is another environment with these management challenges because it is comprised by IoT, but even more complex, owing to large scale and the single administrative domain. In such regard, traditional mechanisms of network and devices management are not efficient. Thus, this work proposes AutoManIoT an architectural solution for autonomic network and devices management to the IoT and SC environments. The proposed architecture use an approach of dynamic and elastic network services provisioning through Software-Defined Networking (SDN) and Network Functions Virtualization (NFV) technologies. These technologies improve the network control and operation efficiency and narrow the network management to application requirements.*

Resumo. *O gerenciamento de infraestrutura de redes é uma atividade fundamental para a manutenção da rede e da qualidade dos serviços providos por ela. Este gerenciamento tem se tornado bastante complexo e custoso à medida que as redes ficam maiores e mais heterogêneas. Desta forma, os custos com o gerenciamento aumentam e a possibilidade de erros humanos também. Um ambiente que oferece esses desafios é a Internet of Things (IoT). O gerenciamento na IoT envolve além da infraestrutura de rede, o gerenciamento de seus nós (dispositivos finais). Cidade Inteligente (CI) é outro ambiente como esses desafios de gerenciamento pois ele engloba a IoT, no entanto, é ainda mais complexo devido a sua grande escala e único domínio administrativo. Neste contexto, mecanismos tradicionais de gerencia de redes e dispositivos não são eficientes. Assim, esse trabalho propõe AutoManIoT, uma solução arquitetural de gerenciamento autônomo de rede e de dispositivos para o cenário de IoT e CIs. A arquitetura utiliza uma abordagem de provisionamento dinâmico e elástico dos serviços de rede através das tecnologias Redes Definidas por Software (SDN) e Virtualização de Funções de Rede (NFV). Essas tecnologias permitem melhorar a eficiência do controle e da operação da rede e ainda aproximar o gerenciamento da rede dos requisitos da aplicação.*

1. Introdução

A Internet cresceu de forma surpreendente desde sua criação há quase 50 anos atrás. O número de dispositivos conectados à rede cresceu de algumas dezenas para alguns bilhões. Estimativas apontam que até 2020 o número de dispositivos conectados poderá chegar a 50 bilhões¹. Nesse contexto, o crescimento da rede provocou um aumento de sua complexidade, criando desafios de escalabilidade, manutenção, gerência de políticas e otimização do uso de recursos disponíveis. É natural que nesse ambiente coexistam dispositivos heterogêneos com diferentes capacidades e de diferentes fabricantes, o que torna ainda mais difícil a gerência de forma eficiente da rede. Estudos apontam que os custos de gerenciamento da infraestrutura já superam há algum tempo o custo com o *hardware* e *software* [Agoulmine 2011].

A revolução tecnológica que contribui para o número de dispositivos conectados à rede é conhecida como Internet das Coisas (IoT) [Atzori et al. 2010]. Dispositivos no ambiente de IoT possuem diferentes requisitos e causarão um grande impacto na forma como as pessoas irão interagir com as *coisas* ao seu redor. Atualmente, estima-se que a quantidade de dispositivos conectados é da ordem de 8 bilhões². À medida que estes sistemas crescem, o seu gerenciamento também passa a ser um elemento impactante, portanto um fator que vem recebendo atenção da academia e indústria.

Diversos trabalhos destacam **heterogeneidade** e a **escalabilidade** como as principais características da IoT [Atzori et al. 2010, Borgia 2014, Gama et al. 2012, Li et al. 2015]. Desta forma, o número crescente de dispositivos na IoT exige que sua infraestrutura seja escalável, ou seja, tenha a habilidade de lidar com variações de carga enquanto faz o bom uso dos recursos disponíveis, mantendo um bom desempenho (ex: baixo tempo de resposta, baixo consumo de CPU e memória) sob diferentes situações de estresse da rede. [Borgia 2014] afirma que dispositivos na IoT serão extremamente heterogêneos em termos de suas capacidades, expectativa de vida e tecnologias de comunicação. De fato, a variedade de tecnologias e protocolos de comunicação com diferentes larguras de banda, modulação, tamanho de pacote, frequência, entre outros, torna o desenvolvimento da arquitetura para IoT um desafio. É necessário que ela seja capaz de prover interligação segura e eficiente entre os dispositivos e os diferentes tipos de redes.

Nesse contexto, Cidades Inteligentes (CIs) surgem como uma integração entre a tecnologia de informação (TI) e IoT, cujo o objetivo é tornar o espaço urbano palco de experiências de uso intensivo de tecnologias de comunicação e informação sensíveis ao contexto. Assim, é possível realizar, por exemplo, o monitoramento em tempo real de diversas atividades cotidianas, automatização de tarefas, criação de soluções sustentáveis e conseqüentemente a melhoria da qualidade de vida de uma população. Em outras palavras, IoT é considerada uma das tecnologias que possibilitará a realização das Cidades Inteligentes [Zanella et al. 2014]. Deste modo, como as CIs utilizam a IoT como tecnologia fundamental para seu desenvolvimento, elas irão compartilhar um conjunto semelhante de desafios, entre eles o gerenciamento de dispositivos e de sua infraestrutura. No entanto, nas CIs o administrador de rede terá um desafio ainda maior, pois terá que administrar um domínio, em geral, muito grande de dispositivos e tecnologias que fazem

¹<http://spectrum.ieee.org/tech-talk/telecom/internet/popular-internet-of-things-forecast-of-50-billion-devices-by-2020-is-outdated> - acessado em 07/04/2017

²<http://www.gartner.com/newsroom/id/3598917> - acessado em 07/04/2017

parte de um mesmo conjunto de aplicações para CI. Assim, dado a complexidade da rede e heterogeneidade dos dispositivos, gerenciar manualmente a rede é uma tarefa custosa, passível de erros e enviável na maioria dos cenários de larga escala.

Uma abordagem bastante estudada que visa diminuir esses problemas na administração de redes é a gerência autonômica de infraestrutura de redes (ANM) [Dobson et al. 2006]. Essa abordagem advém do termo computação autonômica descrita no manifesto escrito por [Horn 2001]. Ele aponta que o aumento da complexidade em sistemas computacionais é o principal problema a ser atacado pela computação autonômica. Posteriormente, [Kephart and Chess 2003] detalham a computação autonômica como um sistema que possui a capacidade de se auto-gerenciar de acordo com os objetivos definidos pelos administradores. O ponto fundamental dos sistemas autônomos é o auto-gerenciamento, que pode ser dividido em quatro aspectos: autoconfiguração, auto-otimização, autocura e autoproteção [Kephart and Chess 2003]. Essas funções autonômicas são mantidas através de uma estrutura conhecida como ciclo de controle que são configurados através de políticas criadas pelo administrador do sistema. Essas características, associadas à administração da infraestrutura de redes simplificam o processo de gerência, diminuem custo, reduzem a intervenção e desta forma minimizam a ocorrência de erros humanos.

O auto-gerenciamento busca justamente melhorar a capacidade de gerência da rede para lidar, por exemplo, com diferentes demandas de acordo com as regras de negócio especificadas pelo administrador da rede. Isto possibilita a redução de custo, mudando o foco do administrador do processo de configuração manual de dispositivos de baixo nível, para definir apenas regras de negócio. Neste sentido, a Força de Tarefa de Engenharia da Internet (IETF) juntamente com a Força Tarefa de Pesquisa da Internet (IRTF) possuem alguns grupos de trabalho ativos em busca de avanços científicos e padronização nessa área. Podemos destacar o grupo de pesquisa em gerenciamento de redes (NMRG³) que trabalha na discussão de problemas de gerenciamento de serviços de redes de alto nível. Um outro exemplo é o grupo Anima (*Autonomic Networking Integrated Model and Approach*) que surgiu com base em uma discussão na IRTF com o objetivo de desenvolver um protocolo para o auto-gerenciamento de uma rede através de funções autonômicas [Behringer et al. 2015]. Atualmente, este grupo de trabalho possui vários rascunhos (*Internet-Drafts ID*) com os detalhes funcionais de propostas de uma arquitetura autonômica. Dentre eles, se destacam o plano de controle, o protocolo genérico de sinalização autonômico (GRASP), a infraestrutura de *bootstrapping* (BRSKI) e o plano de controle autonômico (ACP). Outro grupo de trabalho que está relacionado com este tema é o SUPA⁴ (*Simplified Use of Policy Abstractions*) que tem o objetivo de definir um modelo de dados para ser utilizado na representação de políticas de alto nível com função de gerenciamento de rede.

Assim, a contribuição desse artigo é propor uma arquitetura chamada AutoMan-IoT, uma solução arquitetural de gerenciamento autonômico de rede e de dispositivos para o cenário de IoT e CIs. Nesta perspectiva, este trabalho se assemelha em vários pontos da proposta do grupo Anima. Além disso, ele busca propor mecanismos para que o funcionamento autonômico da rede se adeque às características dinâmicas, heterogêneas

³<https://irtf.org/nmrg>

⁴<https://trac.ietf.org/trac/supa/>

e restritas da IoT. Também, é importante verificar como os paradigmas de SDN e NFV afetam a autonomia da arquitetura. Esperamos dessa forma, contribuir efetivamente para discussões em pelo menos dois grupos distintos pertencentes ao IETF/IRTF.

2. Trabalhos Relacionados

Os trabalhos que utilizam o conceito de gerência autônômica associado à IoT em geral abordam a gerência de serviços para IoT através de *middlewares*, sem se preocupar com problemas de baixo nível da rede [Savaglio and Fortino 2015].

Os trabalhos que utilizam a estratégia ANM com SDN e NFV [Chaparadza et al. 2014, Wendong et al. 2012, Qi et al. 2014] possuem abordagens ligeiramente diferentes e visam propor soluções através de arquiteturas genéricas, sem se preocupar com os desdobramentos que elas podem gerar na infraestrutura de rede. Esses trabalhos também não apresentam detalhamentos importantes como a representação de conhecimento, como as políticas de gerenciamento são implementadas na rede e como as camadas de controle se comunicam. Além disso, pouco esforço foi feito para validar e testar o desempenho e a escalabilidade das soluções.

Este trabalho avança o estado da arte propondo um novo *framework* para suportar o auto-gerenciamento de dispositivos de rede e nós da IoT e CI utilizando SDN e NFV como infraestrutura de implantação.

3. Motivação e Referencial Teórico

Os principais conceitos necessários para desenvolver uma arquitetura de gerenciamento autônômico de uma infraestrutura IoT serão apresentados na seção a seguir.

3.1. Internet das Coisas

A IoT foi proposta inicialmente por Kevin Ashton em 1999 como o conceito de objetos conectados interoperáveis, identificáveis de modo único com a tecnologia RFID [Ashton 2009]. Desde então, a definição de IoT evoluiu e apesar de possuir algumas variações, em geral é definida como uma infraestrutura de rede global e dinâmica com capacidades autoconfiguráveis baseada em protocolos de comunicação padrão e interoperáveis; *things* virtuais e reais na IoT têm identidades e atributos, são capazes de utilizar interfaces inteligentes e são integradas como uma rede de informações [Li et al. 2015]. Nas arquiteturas tradicionais, os sistemas são conhecidos como silos, onde cada aplicação é construída com suporte de uma infraestrutura de Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) proprietária e dispositivos dedicados. Essas soluções, por falta de integração de rede e de serviços geram redundância desnecessária e aumento dos custos. Na arquitetura da IoT, as aplicações compartilham a infraestrutura e os elementos de rede.

A tecnologia IoT agrupa uma grande quantidade de sensores, dispositivos e dados de maneira que torna possível o desenvolvimento de uma gama de aplicações em muitos domínios diferentes. Em resumo, esse domínios são divididos em três grandes grupos: (i) domínio industrial, (ii) domínio de assistência médica e bem estar, e (iii) cidades inteligentes [Borgia 2014]. Ao mesmo tempo que a IoT abre novas oportunidades de criar aplicações inovadoras, a diversidade de dispositivos e domínios de atuação gera uma infinidade de desafios. A escalabilidade e heterogeneidade são desafios inerentes ao sistema

Requisitos de Comunicação	Domínio	Segurança/Vigilância	Assistência Médica	Edificações	Energia e Recursos Naturais	Transporte e Mobilidade	Monitoramento do Ambiente	Serviços
	Pouca/Nenhuma Mobilidade				✓	✓		✓
Baixa Latência			✓					
Prioridade		✓						
Baixo Consumo de Energia						✓	✓	
Monitoramento e Segurança								✓
Confiabilidade			✓	✓				
Pouca Rajada de Dados				✓	✓		✓	
Transmissão em Massa		✓	✓			✓		

Tabela 1. Requisitos de Comunicação dos Domínios de Cidades Inteligentes

complexo e dinâmico que é a IoT [Borgia 2014]. Para lidar com esses requisitos é necessária uma solução que contemple todas as camadas. A Tabela 1 apresenta alguns destes requisitos de comunicação de acordo com um domínio específico.

Ademais, a IoT deve funcionar com pouca ou nenhuma intervenção humana. Para isso, os objetos e a infraestrutura devem ter capacidades autonômicas como autoconfiguração, auto-organização, auto-gerenciamento, dentre outros. Além disso, a IoT deve prover um ambiente seguro e com QoS para garantir os requisitos específicos das aplicações. Esses desafios listados, podem ser compreendidos como requisitos gerais da IoT [Borgia 2014].

Há atualmente um grande esforço da academia e da indústria em busca da padronização das tecnologias envolvidas na IoT. Tecnologias não padronizadas geram fragmentação das soluções e dificultam a interação entre elas. Muitos autores evidenciam como um dos principais desafios, a necessidade de uma padronização para que a IoT possa prover melhor serviço para os usuários [Gama et al. 2012, Li et al. 2012, Borgia 2014].

Desta forma, apesar do grande número de iniciativas de padronização do paradigma IoT, ele ainda está bastante fragmentado. Para que a IoT possa ser utilizada em larga escala é necessário um esforço de colaboração entre as organizações de padronização (SDOs) para que essas soluções sejam unificadas ou que elas possam interoperar. Uma das soluções neste sentido é a oneM2M⁵. Ela é uma iniciativa conjunta entre sete SDOs (p.e., ARIB, ATIS, CCSA, ETSI, TTA, TTA, e TTC) com o objetivo principal de criar uma camada de serviço que funcione com diferentes *hardwares* e *softwares* e assim possa se conectar com vários dispositivos da IoT.

É importante observar que soluções como a oneM2M, apesar de criarem uma camada de integração para que as diferentes tecnologias possam interoperar, ainda deixam em aberto um grande desafio na área de gerenciamento de infraestrutura de rede e de dispositivos. Em relação aos dispositivos, eles possuem em sua grande maioria, restrições de processamento, armazenamento e bateria. A configuração e gerenciamento desses dispositivos é, em geral, executado manualmente e individualmente. O gerenciamento da rede também é um desafio, devido ao tamanho e diversidade de tecnologias envolvi-

⁵<http://www.onem2m.org>

das. Isto faz com que a utilização de protocolos convencionais de monitoramento como SNMP [Case et al. 1990], RMON [Waldbusser 2006], NETCONF [Enns et al. 2011] seja complexa ou inviável. [Sehgal et al. 2012] testaram os protocolos SNMP e NETCONF em dispositivos da IoT e verificam sua viabilidade. Mas, identificam que a grande carga de controle, como estabelecimento e segurança comprometem a utilização. Nesta perspectiva, os autores identificaram uma sobrecarga na ordem de segundos para a inicialização de uma conexão segura, considerando que grande parte dos dispositivos da IoT não suporta criptografia por *hardware*. Além disso, esses mecanismos de gerenciamento consomem em torno de 15% de memória RAM e 30% de memória ROM. OMA *Device Management* é uma solução proposta para gerência de dispositivos, no entanto é restrita a dispositivos móveis. Recentemente ela foi adaptada para M2M [Klas et al. 2014] utilizando as arquitetura COAP e REST. Uma solução de gerenciamento autônomo trata e resolve grande parte desses problemas. Este tipo de solução é um dos fundamentos deste trabalho.

3.2. Cidades Inteligentes

Grande parte dos desafios da IoT estão também incorporados na área de Cidades Inteligentes (CI). Isto porque a IoT é a principal tecnologia de informação e telecomunicação (TIC) que dá suporte à CI. No contexto de CI, a literatura mostra que ainda não existe uma definição unificada, largamente aceita e que seja utilizada como padrão. Neste sentido, há alguns trabalhos que conceitualizam CI em suas diferentes dimensões. [Nam and Pardo 2011] definem CI em três dimensões: humana, institucional e tecnológica. A dimensão humana está relacionada com o comportamento humano e seu relacionamento. Nesta perspectiva, uma Cidade Inteligente é uma mistura de elementos sociais como educação, cultura, arte, comércio. A dimensão institucional envolve governo, a população e a governança, ou seja, como o governo administra a cidade. A dimensão tecnológica se refere a infraestrutura de comunicação, computação e serviços [Yovanof and Hazapis 2009]. Há ainda autores que classificam as CIs de acordo com a infraestrutura: *baseada em infraestrutura física* - transporte, água, energia; e *baseada na infraestrutura lógica* - capital social e humano, inclusão, igualdade social [Angelidou 2014].

[Naphade et al. 2011] destacam que as CIs integram e otimizam um conjunto de sistemas interdependentes públicos e privados para atingir um novo nível de efetividade e eficiência nas cidades. De fato, isto será necessário para as grandes cidades. Estudos mostram que em 2014 mais da metade da população mundial (54%) vivia em cidades e a estimativa é que em 2050 este número suba para 70%, ou seja, algumas megacidades com mais de 10 milhões de habitantes⁶. [Naphade et al. 2011] salientam que as transformações das CIs dependem da utilização de técnicas analíticas para compreender os eventos do mundo real e assim melhorar os processos de negócio urbano. Os autores dividem esses processos em *planejamento*, *gerenciamento* e *operação*. Por planejamento, entende-se, explorar as várias fontes de informação sobre o comportamento urbano para utilizar na alocação de recursos como transporte, água, energia, etc. O gerenciamento envolve a coordenação da infraestrutura da cidade, como a criação e manutenção de ruas, saneamento, sistema de distribuição de água, energia, dentre outros. A operação deve integrar várias fontes de dados para representar os domínios urbanos e as interdependências

⁶<https://esa.un.org/unpd/wup/> - divisão de população da ONU - acessado em 07/02/2017

em tempo real.

Um dos grandes desafios das CIs, além dos já apresentados para a IoT, está centrado na camada de aplicação que deve integrar um grande conjunto de dados providos pelos dispositivos, deve minerar esses dados com técnicas como classificação, regressão dentre outras, e deve funcionar de acordo com as políticas definidas pelo gestor da cidade em conjunto com a sociedade [Rathore et al. 2016, Pan et al. 2013]. Porém, muitos sistemas de IoT implantados são incapazes de interoperar, mesmo estando na mesma rede física (silos) [Clayman and Galis 2011]. Isto dificulta a integração e/ou o compartilhamento de dados nas CIs.

Outro desafio, é o gerenciamento dos dispositivos de rede e dos dispositivos. Apesar de já ter sido tratado no contexto de IoT, o gerenciamento nas CIs possui mais alguns níveis de complexidade. Devido à variedade de áreas de atuação, a quantidade e a diversidade de dispositivos tende a ser maior que na IoT. As tecnologias de comunicação envolvidas também são diversas. Além disso, em geral, os dispositivos e a infraestrutura devem ficar sob o domínio administrativo de uma entidade central, a administração pública da cidade.

3.3. Gerenciamento Autônomo de Redes

Computação autônoma é uma evolução fundamental do gerenciamento de infraestruturas de TIC [Horn 2001]. Esta evolução faz-se necessária devido a complexidade dos sistemas computacionais, causada pelo aumento da sofisticação dos serviços oferecidos, aumento na demanda por produtividade e qualidade, aumento da heterogeneidade de dispositivos, tecnologias e plataformas. [Kephart and Chess 2003] afirmam que a complexidade de sistemas computacionais é o principal desafio a ser solucionado pela computação autônoma.

A computação autônoma também trata do gerenciamento de recursos computacionais de forma a minimizar a intervenção humana. Em sistemas complexos, a intervenção humana pode ser um ponto de inserção de falhas à medida que a gerência é aplicada. Desta forma, é possível observar a computação autônoma como um sistema capaz de gerenciar qualquer sistema de acordo com os objetivos definidos pelo administrador [Kephart and Chess 2003].

[Kephart and Chess 2003] destacam 4 requisitos para que o auto-gerenciamento seja alcançado em uma infraestrutura: (i) autoconfiguração, (ii) auto-otimização, (iii) autotocura e (iv) autoproteção.

Sistemas autônomos funcionam com uma composição de um ou mais elementos autônomos independentes e elementos/recursos gerenciados. Os elementos autônomos realizam o auto-gerenciamento, tomando a decisão para cada elemento, mas, em busca de um melhor estado para o sistema como um todo. Elementos gerenciados são equivalente aos encontrados em sistemas não autônomos, e são mantidos por um único gerente autônomo que o controla.

A computação autônoma é estruturada de acordo com uma arquitetura simples proposta por [Kephart and Chess 2003]. Esta arquitetura é utilizada como referência em muitos trabalhos. Ela representa o elemento gerenciado e o elemento autônomo, especificando as etapas que compõem a gerência autônoma. Esta etapa é dividida em quatro

fases: (i) monitoramento, (ii) análise, (iii) planejamento e (iv) execução. Essas fases do modelo MAPE-K funcionam em um ciclo contínuo de gerência autônômica denominado ciclo de controle (*Autonomic Control Loop (ACL)*).

De forma similar à computação autônômica, que busca desenvolver computadores que auto-gerencie, as pesquisas na área de redes autônômicas estudam novas arquiteturas de redes e protocolos a fim de desenvolvê-las para que se comportem com um certo nível de liberdade e se adaptem de forma eficiente a novas situações, sem intervenção humana direta [Agoulmine 2011]. Desde que o gerenciamento de redes se torna cada vez mais distribuído, a computação autônômica é essencial para manter esses sistemas gerenciáveis [Movahedi et al. 2012]. Os mecanismos de gerenciamento de redes tradicionais mesmo com algumas estratégias de automação, possuem uma natureza estática na tomada de decisões de gerenciamento, tornando-os ineficientes em redes grandes e complexas. A Figura 1 apresenta os cinco níveis de evolução de gerência, onde o último nível, a gerência autônômica provê a auto-configuração em resposta a mudanças ou falhas, de acordo com os objetivos e políticas pré-estabelecidas.

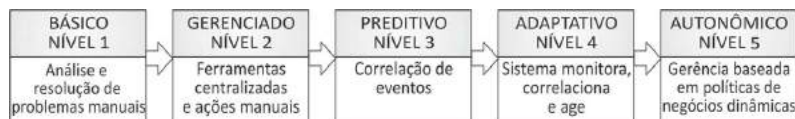


Figura 1. Níveis de evolução da gerência (Adaptado de [Kephart and Chess 2003]).

Há algumas diferenças significativas entre a computação autônômica e ANM. Enquanto a gerência de redes é mais orientada a sistemas distribuídos e serviços, a computação autônômica é voltada a aplicações e recursos computacionais. [Movahedi et al. 2012] destacam ainda que ANM é mais complexo que a computação autônômica pois os domínios heterogêneos das redes podem conflitar entre si, quando conectados. No entanto, os princípios da computação autônômica podem ser ajustados e utilizados no contexto da gerência de redes.

3.4. SDN e NFV

A infraestrutura atual da Internet enfrenta dificuldades para suprir os requisitos dos serviços atuais, dos usuários e das operadoras [Wendong et al. 2012]. Além disso ela tornou-se cara, complexa e instável [McKeown et al. 2008]. Mesmo tarefas simples como a configuração ou a aplicação de políticas exige um bom esforço, devido a falta de uma interface de controle comum para os dispositivos de rede [Nunes et al. 2014]. Neste contexto, as redes definidas por *software* (SDNs) surgem como uma nova arquitetura de rede onde o plano de controle é dissociado do plano de dados. Nesse contexto, é possível desenvolver aplicações e definir regras que executam sob uma entidade centralizada criando um ambiente altamente programável [Farhady et al. 2015]. Esse paradigma de rede permite que os administradores façam a gerência dos serviços de rede através de abstrações das funcionalidades de baixo nível dos dispositivos. [Sezer et al. 2013] destacam as diferenças entre as redes tradicionais e as redes definidas por software.

Em uma rede SDN há três partes bem definidas: aplicação, plano de controle e plano de dados [Farhady et al. 2015]. Há duas iniciativas importantes que trabalham na especificação e desenvolvimento da arquitetura SDN. Uma delas é a Open

Network Foundation (ONF) que desenvolve o protocolo OpenFlow. A outra iniciativa é do grupo de trabalho do IETF ForCES (Forwarding and Control Element Separation) [Nunes et al. 2014]. Apesar de usarem a mesma estratégia de separar o plano de controle do plano de dados, no ForCES o dispositivo de rede ainda é representado como uma entidade única. No entanto, o protocolo mais utilizado pela indústria e com maior alvo de pesquisa pela academia é o OpenFlow.

Implementar novos serviços nas redes atuais está se tornando um desafio, devido a vários fatores, como a natureza proprietária dos dispositivos de hardware, a falta de profissionais qualificados para integrar e manter esses serviços e o custo para oferecer espaço físico e energia para vários dispositivos [Han et al. 2015]. Para diminuir esses problemas a tecnologia NFV vem sendo desenvolvida, juntamente com outras tecnologias com SDN e Cloud Computing.

NFV implementa funções de rede através de técnicas de virtualização de *software* e os executa em *hardware* de propósito geral. Essa abordagem permite a redução de custos com equipamentos de rede de alto desempenho além de acelerar a implantação de novos serviços. As ferramentas virtuais na NFV podem ser instanciadas sob demanda sem a necessidade de instalar novos equipamentos [Han et al. 2015]. Vários serviços de rede podem ser virtualizados com NFV, como *Network Address Translation* (NAT), *firewall*, *Content Delivery Networks* (CDN), *Deep Packet Inspection* (DPI), *Domain Name System* (DNS), dentre outros.

4. AutoManIoT: Visão Geral da Arquitetura

Visando resolver os problemas de gerenciamento em IoT e especificamente em cidade inteligentes, esta seção apresenta uma visão do funcionamento da arquitetura autônoma proposta, denominada AutoManIoT. AutoManIoT é fortemente baseada em SDN e NFV visando alcançar uma maior escalabilidade e flexibilidade na solução proposta. A Figura 2 apresenta uma visão geral da arquitetura proposta.

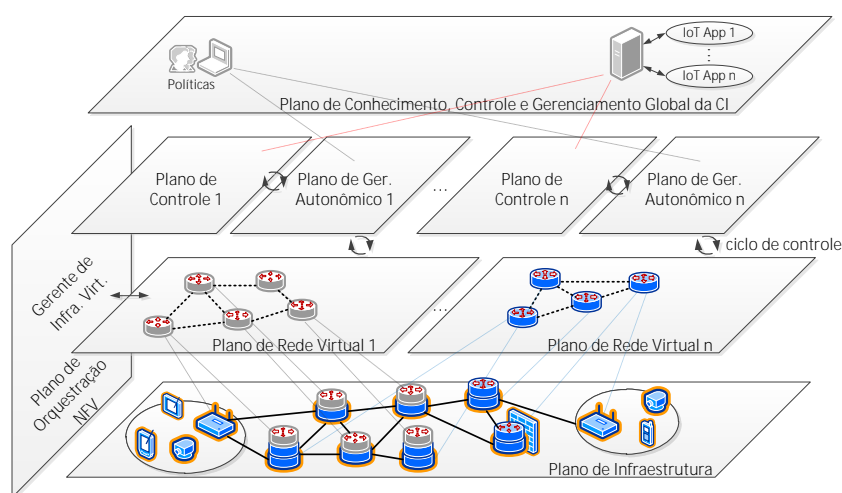


Figura 2. Visão geral da arquitetura

A arquitetura utiliza os conceitos de SDN e NFV como infraestrutura de implanta-

ção. Ao utilizar esses conceitos, os componentes: (i) *controlador SDN*, (ii) *orquestrador, gerente VNF e gerente de infraestrutura virtualizada* devem fazer parte da arquitetura.

No contexto do gerenciamento autônomo, independentemente da estratégia de autonomia utilizada, a arquitetura deve ser composta pelo (iii) *ciclo de controle autônomo* para a gerência dos recursos de rede e dispositivos. Quando se trata do gerenciamento autônomo é necessário ainda um (iv) *elemento de gerência de políticas de rede*.

Baseado nas discussões no grupo Anima da IETF, a adoção da API GRASP⁷ (Generic Autonomic Signaling Protocol Application Program Interface) é utilizada como norteadora para definir a troca de mensagens entre agentes de serviços autônomos. Além disso, o draft "An Autonomic Control Plane"⁸, pertencente também ao grupo Anima, surge como base para o desenvolvimento do Plano de Gerência Autônoma da arquitetura proposta.

Por fim, para possibilitar a integração entre as aplicações IoT, independente da tecnologia utilizada e também para permitir a orquestração da rede de acordo com os requisitos das aplicações foi introduzido o modelo centrado em dados DDS (Data Distribution Service⁹)

A arquitetura é apresentada em uma visão de camadas/planos descritos a seguir:

- *Plano de Infraestrutura*: Provê os recursos físicos necessários para a instanciação das funções virtuais.
- *Plano de Rede Virtual*: Este plano representa a instanciação da infraestrutura de rede virtual, atividade que será implementada no *framework* e que é controlada pelo plano de orquestração NFV. O plano de gerência virtual é gerenciado pelo gerente de infraestrutura virtual, semelhante ao modelo adotado na arquitetura ETSI NFV.
- *Plano de Orquestração NFV*: Esta camada é responsável por orquestrar as VNFs e gerenciar a infraestrutura virtualizada.
- *Plano de Controle*: Este plano provê os mecanismos de controle das funções de rede virtualizadas situadas no plano de rede virtual.
- *Plano de Gerência Autônoma*: Esta camada provê os mecanismos de auto-gerenciamento da rede. Ele monitora os dispositivos de rede virtual através da coleta de informações pertinentes à rede, processa através do ciclo autônomo e por fim aplica as devidas alterações na rede virtual.
- *Plano de Conhecimento, Controle e Gerenciamento Global da CI*: Por fim, o plano de conhecimento, controle e gerenciamento global da CI é responsável por manter e distribuir as políticas globais de gerenciamento das redes.

4.1. Detalhamento da Arquitetura

A Figura 3 apresenta o detalhamento da arquitetura através de seus componentes internos e a interação entre eles.

A camada de infraestrutura da arquitetura segue o paradigma NFV, segundo a especificação ETSI NFV [ETSI 2013]. Deste modo, a infraestrutura virtualizada da ar-

⁷<https://datatracker.ietf.org/doc/html/draft-liu-anima-grasp-api>

⁸<https://datatracker.ietf.org/doc/html/draft-ietf-anima-autonomic-control-plane>

⁹<http://portals.omg.org/dds/>

quitetura NFV permanece inalterada sendo gerenciada pelo gerente de infraestrutura virtualizada. As alterações ocorrem nas funções de rede virtualizadas que passam a ser controladas pelo controlador SDN na camada de controle. O orquestrador também passa a ser controlado pelo controlador SDN.

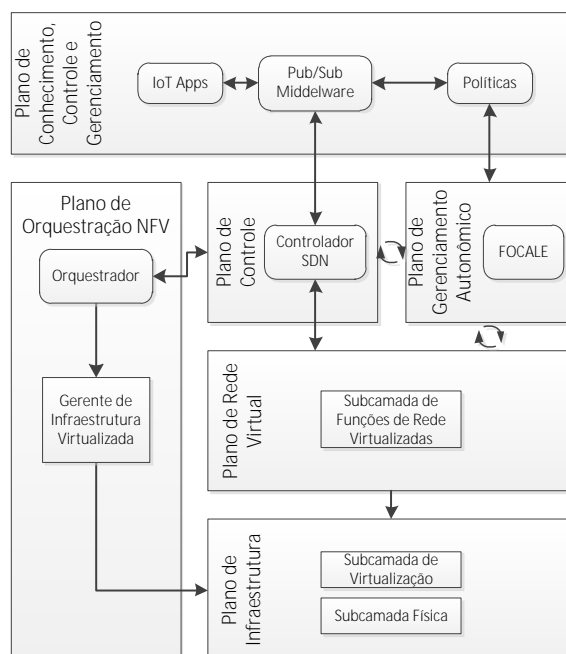


Figura 3. Arquitetura com subcamadas e componentes

O gerenciamento autônomo dos dispositivos virtuais é executado através do ciclo de controle semelhante ao ciclo do FOCALE [Strassner et al. 2006]. No entanto, como a arquitetura proposta utiliza SDN/NFV, os modelos de informação, a tradução desses modelos e a ontologia são simplificados pelas interfaces de operação das tecnologias SDN/NFV (interface SDN/NFV). Além disso, foi incluído um novo processo de decisão, no qual, se o dispositivo não suportar/comportar alguma configuração, uma nova função de rede virtualizada é criada. A Figura 4 a seguir apresenta as tecnologias SDN/NFV incorporadas ao ciclo de controle FOCALE.

Para prover os requisitos das aplicações da CI de acordo com o seu domínio, foi incorporado à arquitetura o *middleware* centrado em dados DDS da OMG¹⁰. Como é possível observar na Figura 5, o controlador SDN publica as notificações de chegada de pacote através do DDS DataReader (DR) listener quando há pacotes em seu manipulador de pacotes. Já o encaminhador de pacotes SDN envia os pacotes armazenados no DDS DataWriter (DW) listener. Esses pacotes são criados pelas aplicações IoT. Por fim, o serviço de programação de fluxo é utilizado para definir as regras de fluxo nos switches Openflow através das políticas definidas pelo administrador da infraestrutura da CI. A definição de políticas específicas para um determinado domínio de aplicação da

¹⁰<http://portals.omg.org/dds>

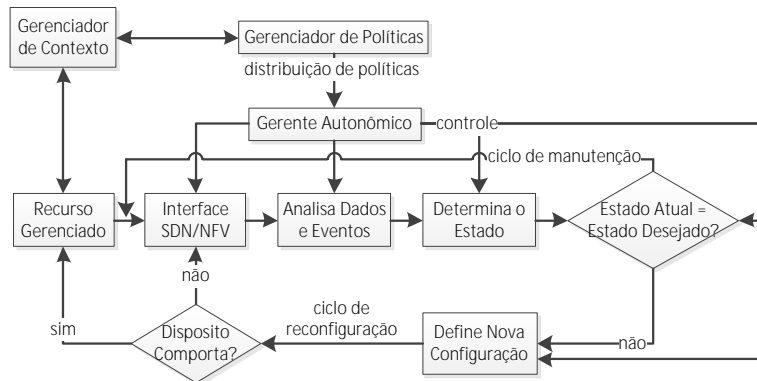


Figura 4. Ciclo de controle FOCAL e SDN/NFV

IoT é possível através do mecanismo de **partição** provido pelo DDS. Desta forma, cada domínio da IoT pertence a uma determinada partição DDS que terá uma programação específica do controlador SDN.

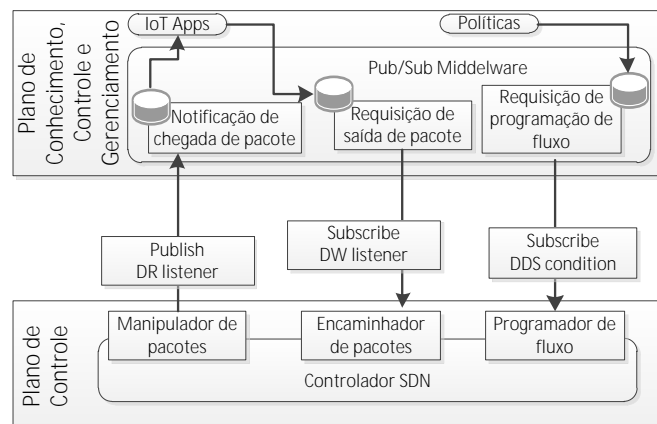


Figura 5. Middleware DDS (Adaptado de [Hakiri et al. 2015])

5. Conclusão

Este trabalho propõem a arquitetura AutoManIoT para gerenciamento autônomo de rede no contexto da IoT e das CIs. Esta arquitetura é construída empregando os recursos de SDN e NFV e considera a disposição eficiente dos dispositivos de controle e gerência autônoma, observando a natureza distribuída e de grande escala da IoT e CIs. A arquitetura se encontra na etapa de validação com a elaboração de experimentos com conjuntos de dados reais, simulando o comportamento da IoT e CIs, e verificação da eficiência da gerência autônoma considerando a utilização dessas tecnologias.

5.1. Trabalhos Futuros

Com o objetivo de validar e avaliar a arquitetura proposta pretende-se executar a experimentação do *framework* proposto. Serão utilizados conjuntos de dados reais de diversos domínios de aplicação de CIs (vide Tabela 2 [Rathore et al. 2016]). Esses dados irão alimentar o tráfego gerado para o *framework* que estará sendo executado no PlanetLab. Neste ambiente, será avaliado o custo computacional e a escalabilidade do *framework*. Ainda, serão elaborados diferentes ambientes para avaliar a eficiência e custo dos mecanismos de autonomia e a capacidade de provisão dos requisitos das aplicações IoT.

#	Conjunto de Dados	Tamanho	Qtd. de Parâmetros
1	Enchente	16MB	30
2	Uso de Água	5MB	11
3	Tráfego de veículos (Madrid)	450MB	5
4	Medição de Mobilidade Veicular	4.03GB	5
5	Estacionamentos	2.94KB	7
6	Poluição	32GB	8
7	Redes Sociais	16MB	7
8	Tráfego de veículos (Aarhus)	33GB	9
9	Clima	3MB	7

Tabela 2. Detalhamento dos Conjuntos de Dados

Além disso, pretende-se implementar uma ferramenta de caracterização de tráfego para IoT, de forma que ela possa prover informações para o plano de conhecimento, como novos requisitos de rede de acordo com o domínio da aplicação.

Referências

- Agoulmine, N. (2011). *Autonomic Network Management Principles: From Concepts to Applications*. Elsevier, Burlington, MA.
- Angelidou, M. (2014). Smart city policies: A spatial approach. *Cities*, 41, Supplement 1:S3 – S11. Current Research on Cities.
- Ashton, K. (2009). That 'internet of things' thing. <http://www.rfidjournal.com/articles/view?4986>. Accessed: 2016-03-20.
- Atzori, L., Iera, A., and Morabito, G. (2010). The internet of things: A survey. *Computer Networks*, 54(15):2787 – 2805.
- Behringer, M., Pritikin, M., Bjarnason, S., Clemm, A., Carpenter, B., Jiang, S., and Ciavaglia, L. (2015). Autonomic networking: Definitions and design goals. Technical Report 7575, IETF.
- Borgia, E. (2014). The internet of things vision: Key features, applications and open issues. *Computer Communications*, 54:1 – 31.
- Case, J., Fedor, M., Schoffstall, M., and Davin, J. (1990). Simple network management protocol (snmp). Technical Report 1157, IETF.
- Chaparadza, R., Menem, T. B., Strassner, J., Radier, B., Soulhi, S., Ding, J., and Yan, Z. (2014). Industry harmonization for unified standards on autonomic management

- amp; control (amc) of networks and services, sdn and nfv. In *2014 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps)*, pages 155–160.
- Clayman, S. and Galis, A. (2011). Inox: A managed service platform for inter-connected smart objects. In *Proceedings of the Workshop on Internet of Things and Service Platforms*, IoTSP '11, pages 2:1–2:8, New York, NY, USA. ACM.
- Dobson, S., Denazis, S., Fernández, A., Gaïti, D., Gelenbe, E., Massacci, F., Nixon, P., Saffre, F., Schmidt, N., and Zambonelli, F. (2006). A survey of autonomic communications. *ACM Trans. Auton. Adapt. Syst.*, 1(2):223–259.
- Enns, R., Bjorklund, M., Schoenwaelder, J., and Bierman, A. (2011). Network configuration protocol (netconf). Technical Report 6241, IETF. Updated by RFC 7803.
- ETSI (2013). Network functions virtualization (nfv); architecture framework. Technical report, ETSI GS NFV 002 v1.1.1.
- Farhady, H., Lee, H., and Nakao, A. (2015). Software-defined networking: A survey. *Computer Networks*, 81:79 – 95.
- Gama, K., Touseau, L., and Donsez, D. (2012). Combining heterogeneous service technologies for building an internet of things middleware. *Comput. Commun.*, 35(4):405–417.
- Hakiri, A., Berthou, P., Gokhale, A., and Abdellatif, S. (2015). Publish/subscribe-enabled software defined networking for efficient and scalable iot communications. *IEEE Communications Magazine*, 53(9):48–54.
- Han, B., Gopalakrishnan, V., Ji, L., and Lee, S. (2015). Network function virtualization: Challenges and opportunities for innovations. *IEEE Communications Magazine*, 53(2):90–97.
- Horn, P. (2001). Autonomic computing: Ibm\'s perspective on the state of information technology. *Manifesto*.
- Kephart, J. O. and Chess, D. M. (2003). The vision of autonomic computing. *Computer*, 36(1):41–50.
- Klas, G., Rodermund, F., Shelby, Z., Akhouri, S., and Höller, J. (2014). Lightweight m2m: Enabling device management and applications for the internet of things. Technical report, White Paper.
- Li, S., Xu, L., Wang, X., and Wang, J. (2012). Integration of hybrid wireless networks in cloud services oriented enterprise information systems. *Enterprise Information Systems*, 6(2):165–187.
- Li, S., Xu, L. D., and Zhao, S. (2015). The internet of things: A survey. *Information Systems Frontiers*, 17(2):243–259.
- McKeown, N., Anderson, T., Balakrishnan, H., Parulkar, G., Peterson, L., Rexford, J., Shenker, S., and Turner, J. (2008). Openflow: Enabling innovation in campus networks. *SIGCOMM Comput. Commun. Rev.*, 38(2):69–74.
- Movahedi, Z., Ayari, M., Langar, R., and Pujolle, G. (2012). A survey of autonomic network architectures and evaluation criteria. *IEEE Communications Surveys Tutorials*, 14(2):464–490.

- Nam, T. and Pardo, T. A. (2011). Conceptualizing smart city with dimensions of technology, people, and institutions. In *Proceedings of the 12th Annual International Digital Government Research Conference: Digital Government Innovation in Challenging Times*, dg.o '11, pages 282–291, New York, NY, USA. ACM.
- Naphade, M., Banavar, G., Harrison, C., Paraszczak, J., and Morris, R. (2011). Smarter cities and their innovation challenges. *Computer*, 44(6):32–39.
- Nunes, B. A. A., Mendonca, M., Nguyen, X. N., Obraczka, K., and Turletti, T. (2014). A survey of software-defined networking: Past, present, and future of programmable networks. *IEEE Communications Surveys Tutorials*, 16(3):1617–1634.
- Pan, G., Qi, G., Zhang, W., Li, S., Wu, Z., and Yang, L. T. (2013). Trace analysis and mining for smart cities: issues, methods, and applications. *IEEE Communications Magazine*, 51(6):120–126.
- Qi, Q., Wang, W., Gong, X., and Que, X. (2014). A sdn-based network virtualization architecture with autonomic management. In *2014 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps)*, pages 178–182.
- Rathore, M. M., Ahmad, A., Paul, A., and Rho, S. (2016). Urban planning and building smart cities based on the internet of things using big data analytics. *Computer Networks*, 101:63 – 80. Industrial Technologies and Applications for the Internet of Things.
- Savaglio, C. and Fortino, G. (2015). *Autonomic and Cognitive Architectures for the Internet of Things*, chapter 1, pages 39–47. Springer International Publishing, Cham.
- Sehgal, A., Perelman, V., Kuryla, S., and Schonwalder, J. (2012). Management of resource constrained devices in the internet of things. *IEEE Communications Magazine*, 50(12):144–149.
- Sezer, S., Scott-Hayward, S., Chouhan, P. K., Fraser, B., Lake, D., Finnegan, J., Viljoen, N., Miller, M., and Rao, N. (2013). Are we ready for sdn? implementation challenges for software-defined networks. *IEEE Communications Magazine*, 51(7):36–43.
- Strassner, J., Agoulmine, N., and Lehtihet, E. (2006). Focale: A novel autonomic networking architecture. In *Latin American Autonomic Computing Symposium (LAACS)*, Campo Grande, MS, Brazil.
- Waldbusser, S. (2006). Remote network monitoring management information base version 2. Technical Report 4502, IETF.
- Wendong, W., Yannan, H. U., Que, X., and Xiangyang, G. (2012). Autonomicity design in openflow based software defined networking. In *2012 IEEE Globecom Workshops*, pages 818–823.
- Yovanof, G. S. and Hazapis, G. N. (2009). An architectural framework and enabling wireless technologies for digital cities & intelligent urban environments. *Wireless Personal Communications*, 49(3):445–463.
- Zanella, A., Bui, N., Castellani, A., Vangelista, L., and Zorzi, M. (2014). Internet of things for smart cities. *IEEE Internet of Things Journal*, 1(1):22–32.

Alocação de Recursos em Funções de Redes Virtualizadas: Desafios e Perspectivas Aplicado em *Data enter*

Rafael Souza¹, Marcelo Santos², Stênio Fernandes¹

¹Centro de Informática – Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)
Caixa Postal 181 - CEP 89802-112 – Recife – PE – Brasil

{rrs4, sflf}@cin.ufpe.br

²Instituto Federal do Sertão Pernambucano (IF Sertão-PE)
Caixa Postal 508 - CEP 56000-000 – Salgueiro –PE – Brasil.

marcelo.santos@ifsertao-pe.edu.br

Abstract. *The implementation of a Network Function Virtualization (NFV) denotes a widespread shift in communication and network services from a service provider network to a Cloud-based network. Its use has the potential to provide Cloud-based network services with lower operating and capital costs. In this context, This work aims to identify and discuss NFV applications in data center architectures. This study reviews of the literature to raise the main research on resource allocation of NFV in the data center. From this research, we have identified evidence on the problems and solutions associated with the resources allocation of NFV in data centers. Finally, we identify gaps, open challenges that can be used to target future research. Finally, we identify gaps, open challenges that can be used to direct future research.*

Resumo. *A implementação de uma Network Function Virtualization (NFV) denota uma mudança generalizada nos serviços de comunicação e rede de uma rede de provedores de serviços para uma rede baseada em nuvem. Seu uso tem o potencial de fornecer serviços de rede baseados em nuvem com menores custos operacionais e de capital. Neste contexto, este trabalho visa identificar e discutir aplicações de NFV em arquiteturas de data center. Este estudo realiza uma revisão da literatura, para levantar as principais pesquisas sobre alocação de recurso de NFV no data center. A partir dessa pesquisa, foi identificado evidências sobre os problemas e soluções associadas a alocação de recursos de NFV em data centers. Finalmente, identificamos lacunas, desafios abertos que podem ser usadas para direcionar pesquisa futura.*

1. Introdução

A virtualização emergiu como uma paradigma que permite virtualizar funções de redes que executavam em *hardwares* dedicados em máquinas de propósito geral através do uso de tecnologias já aplicadas em computação em nuvem e *data center*. Dessa forma, é possível, por exemplo, realizar a automatização de processos, com redução de custos operacionais (*Operational Expenditure* - OPEX) e melhor eficiência nos gastos de capital (*Capital Expenditure* - CAPEX). Nessa perspectiva, surgiram as redes definidas por *software* (*Software Defined Networking* - SDN) que permitem desacoplar o plano de

controle (lógico) do plano de dados, propiciando um cenário evolutivo das redes atuais [Feamster et al. 2013], bem como a Virtualização de Funções de Redes (*Network Function Virtualization* - NFV) que foi criada pelo Instituto Europeu de Normas de Telecomunicações (ETSI) [Schaffrath et al. 2009] [Chiosi et al. 2012]. Ambas as tecnologias vem sendo utilizadas para dinamicidade e flexibilidade do gerenciamento de redes no *data center*.

Poder criar funções de rede virtualizadas (*Virtualized Network Function* - VNF) permite uma maior flexibilidade de uma rede baseada em *software* sobre uma infraestrutura física. A ideia de arquitetura NFV permite virtualizar funções de rede como, por exemplo, *firewall* e balanceadores de carga. Além disso, NFV permite organizar os recursos físicos e virtuais otimizando o provisionamento, configuração de rede, alocação de largura de banda, automação de operações, monitoramento, segurança e políticas de controle. A capacidade de virtualização permite ainda trabalhar com arquitetura de rede tradicional para reduzir os custos da empresa na aquisição de novo *hardware* de rede. Estudos mostram ainda que NFV poderá reduzir as despesas de energia e espaço para alocação de novas máquinas [Rosa et al. 2015].

Uma pesquisa realizada em 2015 pela IHS Markit sobre o crescimento do NFV em 2015-2019, projetou um investimento próximo de US \$11,6 bilhões. O mesmo estudo afirma que 100% dos prestadores de serviços consultados pretendem adaptar suas infraestruturas para suportar NFV. Desses, 81% esperam fazê-lo até 2017 [IHS Markit 2015]. No cenário específico de *data centers* (*data centers*), a adoção do NFV transfere funções de rede para um *hardware comercial off-the-shelf* (COTS), em vez de dispositivos proprietários especializados. Nesse cenário, a padronização de protocolos permite que o *hardware* de propósito geral seja utilizado para reduzir custos, ganhando simultaneamente flexibilidade através da interoperabilidade de diferentes sistemas.

A infraestrutura de *data center* é um serviço especializado de valor agregado, que fornece capacidades de processamento e armazenamento de dados escaláveis para organizações de qualquer tamanho, como Amazon, Google, Facebook e Yahoo. Essas organizações investem profundamente no planejamento de *data center* para evitar, por exemplo, picos de inatividade ou sobrecarga inesperados. Além dos custos diretos do tempo de inatividade do sistema, há mais custos intangíveis, como reputação danificada, menor satisfação dos funcionários e redução da retenção de clientes. Um estudo conduzido pelo Instituto Ponemon descobriu que o custo médio do tempo de inatividade do *data center* está perto de US \$9.000 por minuto [Ponemon Institute 2016]. Assim, é importante fornecer serviços e capacidades analíticas com atrasos mínimos. Dessa forma, o *design* e o desempenho de *data center* em larga escala, bem como o gerenciamento de ativos de TI, não podem ser negligenciados. Assim, uma revisão da literatura de NFV em *data center* torna-se necessária para identificar os avanços e desafios, bem como quais técnicas de outras áreas podem ser aplicadas em NFV no cenário de um *data center*.

No cenário de NFV e *data center*, a maioria das abordagens atuais enfocam o gerenciamento do *data center* para interconectar os recursos virtuais com a estrutura física [Maini and Manzalini 2014] [Riccobene et al. 2014][Shen et al. 2014] [Clayman et al. 2014]. Outras pesquisas, estão relacionadas com o desempenho do NFV [Schaffrath et al. 2009] [Wang et al. 2014]. Considerando o desempenho, os requisitos de gestão no ambiente NFV devem ter a capacidade de suportar variações de carga de

trabalho. Assim, um dos desafios da gestão no NFV no *data center* em computação nas nuvens é a demanda que varia de um dia para outro ou mesmo por hora. Essa flutuação torna difícil gerenciar o processo manualmente. Uma possível solução é dividir Máquinas Virtuais (*Virtual Machine* - VM) em diferentes nós ou *clusters*. Há muitos aspectos do NFV a analisar, desde os mais concretos até os mais abstratos, como máquinas virtuais e *links* virtuais. Assim, este trabalho está interessado em investigar os esforços específicos na alocação de recurso de NFV em arquiteturas de *data center*.

Dentro da IETF/IRTF, o *Network Function Virtualization* (NFVRG) investiga NFV sob várias perspectivas com o objetivo de identificar as abordagens que podem ser definidas, implementadas e utilizadas no curto prazo, além de também identificar os futuros desafios de pesquisa. Em particular, as principais áreas de interesse incluem soluções: virtualização, alocação e recurso e encadeamento de funções de rede (*Service Function Chain* - SFC), bem como identificação de futuros desafios de pesquisa na área. Outro grupo relacionado com este trabalho é *Benchmarking Methodology Working Group* (BMWG), pesquisa por trabalhos relacionados também com melhorias de desempenho, entre os quais verificam-se trabalhos com foco específico em *data center* [Samuel and Rapp 2017][Avramov and Rapp 2016]. Assim, acreditamos que os desafios de pesquisas encontradas podem ser uma contribuição para o grupo NFVRG, que tem investigado, por exemplo, a performance de *data center* [Samuel and Rapp 2017] [Avramov and Rapp 2016], virtualização de redes [Zúñiga et al. 2017], Alocações de Recursos [Szabo et al. 2016], encadeamento de serviço [Do and Kim 2017], bem como identificação de futuros desafios de pesquisa para a comunidade da IETF/IRTF. Dessa forma, temos como contribuição a definição de desafios e possíveis soluções de NFV aplicadas ao ambiente de *data center*. Além disso, espera-se como resultado contribuir para o Draft da Internet (I-D) intitulado "Gap Analysis on Network Virtualization Activities"¹. A organização deste artigo é a seguinte: Fundamentos e Aspectos Teóricos (Seção 2), Desafios e Oportunidades seção (Seção 3), Considerações Finais (Seção 4).

2. Fundamentos e Aspectos Teóricos

2.1. Virtualização de Rede

Ao utilizar máquinas de propósito geral (COTS) em uma infraestrutura NFV, podemos executar de forma virtualizada diversas funções de rede distintas, tais como rede privada virtual (*Virtual Private Network* - VPN), *firewall*, balanceador de carga, rede de distribuição de conteúdo (*Content Delivery Network* - CDN), subsistema multimídia IP (*Internet Protocol Multimedia Subsystem* - IMS), Roteador, entre outros. Como tal, as funções de rede virtualizadas, também chamadas de Função de Rede Virtual (*Virtualized Network Function* - VNF) são instanciadas dentro da rede sob demanda. Requisitos de desempenho são identificados nas aplicações do cliente ETSI [ETSI 2014] e as quatro partes da arquitetura de referência NFV são mostradas na Figura 1

- VNF é uma Máquina Virtual (*Virtual Machine* - VM) destinada a executar uma determinada função de rede. Uma VNF é comumente administrada por um sistemas simples de gerenciamento de elementos (*Element Management* - EM), que permite a criação, configuração, monitoramento, segurança, confiabilidade e desempenho;

¹<https://tools.ietf.org/html/draft-bernardos-nfvrg-gaps-network-virtualization-04>

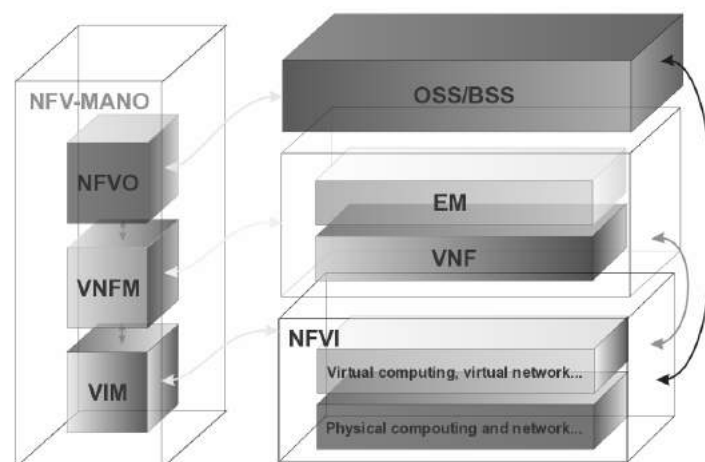


Figura 1. Arquitetura de Referência NFV. Adaptado de [ETSI 2013].

- Infraestrutura para Virtualização das Funções da Rede (*NFV infrastructure* - NFVI), consiste em *hardware* e *software*, que é a base para o ambiente virtualizado através de um *Hypervisor*;
- Suporte Operacional (*Operational Support Systems* - OSS) e Sistemas de Suporte ao Negócio (*Business Support Systems* - BSS) lida com o sistema legado que precisa se integrar com o ambiente NFV para se adequar aos processos da operadora
- Gerenciamento e Orquestração (*Management and Orchestration* - MANO) gerenciam o ciclo de vida de recursos físicos, VNFs e *software*.

O Gerenciador de Funções de Rede Virtual (*VNF Manager* - VNFM), gerência o ciclo de vida de VNFs sob controle NFVO, (ii) o VIM gerência a infraestrutura de uma solução baseada em NFV e (iii) O NFV Orchestrator (*NFV Orchestrator* - NFVO), concentra a inteligência para a distribuição de VNFs ao longo da rede. O NFVO também é responsável por ligar os ambientes físicos e virtuais, bem como a integração com OSS/BSS.

2.2. Infraestrutura do *Data Center*

O *data center* é um conjunto de recursos escaláveis para processamento e armazenamento de dados para organizações de qualquer tamanho, como empresas, instituições educacionais, indústrias, agências governamentais, entre outros. Além disso, um sistema de *data center* genérico (Figura 2), consiste essencialmente nos seguintes subsistemas: (i) infraestrutura de TI; (ii) infraestrutura de refrigeração; e (iii) infraestrutura de energia. [Maini and Manzalini 2014].

- A infraestrutura típica de TI consiste em três componentes de *hardware* principais: (i) os servidores usam *Ethernet* para conectar sistemas cruzados de acesso a arquivos remotos através de um dispositivo de armazenamento conectado a uma rede (*Network-Attached Storage* - NAS); (ii) armazenamento refere-se a dispositivos de gravação de dados conectados tipicamente através da rede de área de armazenamento (*Storage Area Network* - SAN); e (iii) equipamento de dispositivos de rede, tais como *switches* e roteadores;

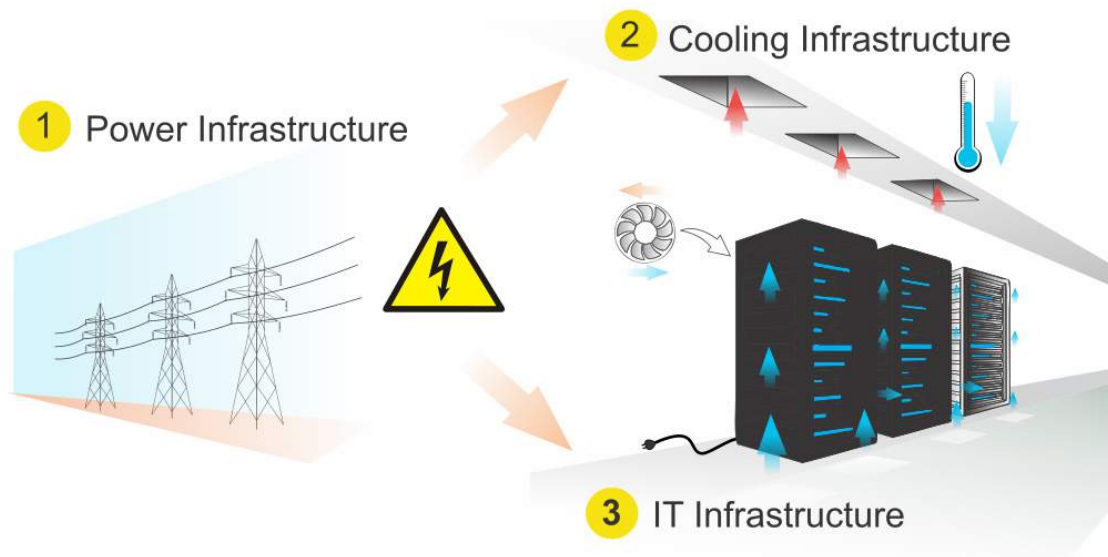


Figura 2. Infraestrutura do *data center*.

- A infraestrutura de energia fornece alimentação ininterrupta na frequência e tensão especificadas para os dispositivos de TI e refrigeração [Fan et al. 2007]. Normalmente, a energia passa através de transformadores (*Step Down Transformers - SDT*), unidades de distribuição de energia (*Power Distribution Units - PDU*), interruptores estáticos ou automáticos, fontes de alimentação ininterrupta (*Power Supplies - UPSs*) e, finalmente, barras de alimentação do rack são usados para conectar os dispositivos elétricos. O UPS fornece energia e *backup* através de baterias em caso de falhas de curto prazo. Considerando que outro fornecimento local de energia (por exemplo, eletricidade, diesel, energia renovável e energia nuclear) fornece energia para interrupções de tempo mais longas;
- A infraestrutura de refrigeração inclui unidades de ar condicionado (*Computer Room Air Conditioning - CRAC*), e as Torres de resfriamento (*cooling towers*) [Arregoces and Portolani 2003]. A infraestrutura de refrigeração representa aproximadamente 15-20% em média do consumo de energia do *data center* [Miller 2011].

2.3. Dependabilidade em *Data Center*

Devido à crescente expansão das virtualizações de redes de computadores, é fundamental que se faça a análise das mesmas sob as métricas de dependabilidade, que são importantes para o avanço tecnológico de NFV em *data center*, de forma a determinar se uma aplicação de rede é confiável. Os primeiros conceitos de dependabilidade foram inicialmente definidos no artigo *Dependability Basic Concepts and Terminology* [Avizienis et al. 2004] e desde então, têm sido largamente utilizados tanto na academia como na indústria. As métricas são compostas da seguinte forma:

- Disponibilidade é a operação contínua independente das falhas do sistema;

- Confiabilidade é o correto contínuo desempenho da rede, sem a presença de falhas;
- Integridade é a situação em que não há corrupção de dados no tempo;
- Segurança é a correta detecção de falhas do sistema;
- Manutenção é a facilidade para corrigir o sistema em resposta a uma falha.

Uma distinção importante é feita entre prevenção de *fault*, tolerância, previsão (*forecasting*) e remoção. O estresse é colocado em particular na tolerância, ou seja, a capacidade de tolerar falhas durante a execução do sistema. A Figura 3 mostra uma relação entre os tipos de falhas, que são consideradas *faults* físicos ou imperfeições que levam, possivelmente, a *failure* (no sentido do comportamento esperado). O trânsito de *faults* para *failures* é normalmente conhecido como o desvios do comportamento esperado, chamado erros. *Failures*, se não tratadas ou solucionadas, podem por sua vez, desencadear outras *faults* do sistema e levar as operações do *data center*, de forma cíclica, a um desastre incontrolável.

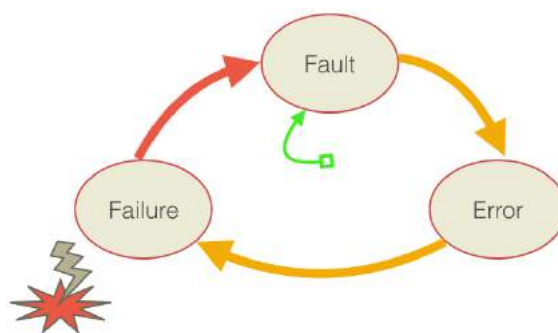


Figura 3. Tipos de Falhas.

Os problemas de falhas de redes relacionados com alocação de recurso, requerem abordagens sistemáticas, visando à melhoria da qualidade do sistema em termos de NFV aplicados ao *data center*, tolerância a erros e ocorrência de falhas, verificação do funcionamento correto, validação das funcionalidades e da missão do sistema. Para tal, listamos a seguir alguns desafios em abertos, seguindo as categorias de falhas de acordo com [Avizienis et al. 2004]:

- **Prevenção de Defeitos:** tornou-se fator crítico no gerenciamento da sobrevivência de redes no *data center*. O impacto da falha é agravado por volumes extremamente elevados de tráfego transportados em redes no *data center* e, nesse aspecto, torna-se um desafio a inserção da prevenção de falha de VNF em *data center*. A prevenção assegura a proteção em relação às falhas de entrada em tempo de execução, permitindo prevenção contra sua ocorrência e seus efeitos. Uma das formas que vêm sendo investigados nas áreas de computação nas nuvens, mas um dos desafios que estão relacionados é a aplicação de técnicas de injeção de falhas [Kooli and Di Natale 2014].
- **Tolerância a Falhas:** a aplicação de NFV tolerante a falha no *data center* é baseada na hipótese de que falhas existem no sistema e eventualmente serão ativadas, causando erros. Os efeitos de falhas devem ser planejados para recuperação da função de rede, de forma a reduzir o tempo de reparo ou o período em que a rede ficará inativa. A falha de um elemento de rede pode levar a um grande impacto na

rede de substrato, o que, por sua vez, leva à perda de dados, que pode interromper serviços de comunicação. Alguns exemplos são a melhoria dos processos de planejamento da rede, pois, para uma função de rede, o uso de tais técnicas é um passo necessário para sistemas confiáveis [Salfner et al. 2010].

- **Remoção de Defeitos:** para remover as falhas durante o desenvolvimento do sistema (por exemplo, verificação, validação) ou durante a sua utilização. Em particular, a remoção de falhas durante o uso do sistema pode ser implementada como manutenção corretiva, na qual as falhas são encontradas e corrigidas ou manutenção preventiva, para descobrir falhas existentes antes que elas se transformem em erros.
- **Previsão de Defeitos:** analisa o comportamento do sistema de forma qualitativa ou quantitativa, em relação à ocorrência ou ativação de falha. Na prática, o objetivo é avaliar o comportamento do sistema a fim de estimar as consequências futuras de uma falha usando modelagem de sistema ou teste de sistema. A previsão de falha é particularmente útil no contexto de falhas residuais, isto é, falhas que escaparam ao processo de teste, e que não podem ser toleradas por outros mecanismos de tolerância a falhas [Vieira et al. 2009]. Um preditor de falhas *on-line* prevê falhas de entrada em tempo de execução, principalmente usando dados passados do sistema, usados para treinar o preditor e informações sobre o estado atual do sistema obtido por meio do monitoramento de variáveis do sistema.

3. Requisitos e Desafios de NFV em *Data Center*

O ETSI define que uma rede de substrato como entidades compostas por um número de VNFs [ETSI 2014], assim, uma função de rede (um nó) pode ser implementada via VNF. Portanto, ao ser enviado um pacote de um computador de origem para um destino, o mesmo passar por um conjunto de VNFs para fazer parte do serviço de rede oferecido. Provisionar corretamente a quantidade de recursos dentro de uma infraestrutura de um *data center* é um desafio, pois, segundo o Instituto Ponemon, em 2016 houve um aumento de 38% nos custos de inatividade do *data center* em comparação a 2010, resultando em uma perda financeira de US\$740.357 [Ponemon Institute 2016]. Nesse sentido, o processo de alocação eficiente de recursos torna-se essencial diante de um cenário dinâmico e com alta demanda de recursos.

3.1. Alocação de Recursos em *Data Center* e SLA

Para caracterizar o problema de alocação de recursos para um ambiente de *data center* em nuvem, o pesquisador de [Liu and Wood 2015] constrói um *Data Plane Development Kit* (DPDK). O DPDK baseia-se numa estrutura de monitorização e análise em larga escala de redes de alta velocidade. Após a aquisição dos dados, os mesmos são enviados para um processamento que é baseado no *Apache Storm*, que é uma ferramenta de análise de dados em tempo real.

Os trabalhos de [Rankothge et al. 2015] [Moens and De Turck 2014] abordam o problema da alocação de recursos com cadeia de serviços e otimização através da implementação de algoritmos genéticos e de programação linear inteira (*Integer Linear Programming* - ILP) integrados ao emulador Mininet com o controlador Ryu. Uma estratégia de posicionamento de *Virtual data center* - (VDC) com melhor reconhecimento de rede, reduz o impacto da carga de trabalho na infraestrutura de comunicação física. Outro

aspecto identificado por [Moens and De Turck 2014] é a criação de um algoritmo ILP, através das ferramentas SCALA e CPLEX. O algoritmo ILP aloca recursos VNF em um ambiente NFV. Por essa razão, considera-se um cenário híbrido, no qual um *hardware* físico dedicado fornece parte dos serviços.

Para satisfazer o acordo de nível de serviço (*Service Level Agreement* - SLA) dos usuários em uma rede de *data center* definida por *software*, o estudo [Huang et al. 2015] investiga os problemas das cadeias de serviços e da orquestração. O objetivo é criar algoritmos ILP para avaliar o desempenho da orquestração de múltiplas cadeias de serviço NFV. O problema de escala foi investigado por [Xia et al. 2015] [Soares and Sargento 2015] [Callegati et al. 2016]. Em [Xia et al. 2015], foca em maximizar a qualidade do desempenho do serviço, avaliou a percepção do usuário no tocante à rede de ponta a ponta e desempenho lado a lado do sistema. A fim de investigar o monitoramento de recursos em pequenas escalas de tempo, [Soares and Sargento 2015] avaliou os requisitos de qualidade de experiência (*Quality of Experience* - QoE). Esta análise foi baseada em opiniões de convidados e *host* sobre "uso" e "carga" para a análise de variância. O estudo [Callegati et al. 2016], utilizou um cenário NFV para identificar limites potenciais e reais do desempenho de virtualização de rede em infraestruturas em nuvem OpenStack.

3.2. Mapeamento de Cadeia de Serviço em *Data Center*

O IETF lançou um grupo para a arquitetura da encadeamento de funções de rede (*Service Function Chain Working Group* - SFC-WG) [Quinn and Halpern 2014] para desacoplar a topologia física e os funcionamentos da função de serviço para que a reconfiguração do serviço possa ser simplificada. Alguns empresas como Cisco e Huawei Inc. promoveram esta arquitetura em uma fase de padronização [Aldrin et al. 2016]. Outros trabalhos mais recente investiga a aplicação de SFC em *data center* [Kumar et al. 2017]. No entanto, observamos nesta revisão da literatura que um dos *gap* identificado, podem ser futuros desafios de pesquisa na comunidade do IETF/IRTF, é o mapeamento de cadeia de serviço em *data center*.

O problema encontrado nas redes virtuais embutidas (*Virtual Network Embedded* - VNE), consiste no mapeamento de um conjunto de requisições de VNF (VNF requests ou VNRs), sobre uma rede de substrato do *data center*, de forma eficiente e que garanta a maior quantidade de requisições atendidas. Os problemas que envolvem o mapeamento de cadeia de serviço são complexos porque as cadeias incluem serviços de redes tradicionais. Além disso, encadeamento pode ser construído manualmente através de uma interface de usuário ou dinamicamente através de algoritmos. Assim, a flexibilidade é introduzida por meio da virtualização de forma dinâmica de cadeias de VNF, para implantar estrategicamente, um conjunto de nós de rede física, de modo a alcançar o objetivo de um operador predefinido ou atender a requisitos de SLA. No entanto, a atual rede estática de cadeias de posicionamento depende da localização física.

O mapeamento de cadeia de serviço concentra-se em como alocar os VNF nas infraestruturas de rede de forma adequada, considerando um conjunto de serviços de rede solicitados. Além disso, a otimização de recursos deve ser realizada com relação a um objetivo específico, por exemplo, maximização dos recursos de rede remanescentes, minimização do consumo de energia do *data center*. O mapeamento de SFC de VNFs

para um *data center* é composto de um serviço de rede fim a fim. O SFC é composto pelo conjunto ordenado de VNFs que a rede de substrato executa para cumprir atributos do serviço em quesitos de dependabilidade. No entanto, mesmo tendo-se o conhecimento prévio de todas as requisições de redes virtuais, o mapeamento ótimo é um problema NP-difícil [Amaldi et al. 2016], onde a maioria dos trabalhos realizados nessa área, tem se concentrado no desenho de algoritmos heurísticos ou meta-heurísticos e no uso de redes com complexidade mínima ao resolver modelos de ILP.

Neste contexto, a aplicação de estratégias de mapeamento de NFV em *data center*, tendo como entrada o SFC para alocação de recurso, é uma lacuna de pesquisa para alocação das funções de rede, isso porque a mudança de SFC é dinâmica e as topologias do *data center* são tipicamente homogêneas, o que significa que os servidores têm a mesma capacidade de computação, armazenamento e comunicação. Para tal, podemos projetar mecanismos que melhorem o desempenho do *data center*. Nesse sentido, o desempenho da rede de substrato, será afetado pelo comportamento das diferentes funções de composição e pela ordem em que as funções são processadas. Portanto, é primordial conseguir um encadeamento de cadeia de serviços eficiente em relação aos objetivos do *design* da rede. Entre as perguntas não respondidas, podemos citar:

- Como concatenar os diferentes VNFs eficientemente para compor uma rede física do *data center* de maneira mais adequada?
- Como desenvolver algoritmos exatos e heurísticos, a fim de reduzir os atrasos na rede devido ao congestionamento por meio de SFC no *data center*?
- Qual o nível de confiabilidade, desempenho e sustentabilidade que NFV deve garantir no *data center*, com o mapeamento de SFC?
- Como o NFV ajudará o provedor de *data centers* a agregar e analisar índices de redundância?
- Como otimizar um mapeamento de recuperação SFC em situação de desastres no *data centers*?
- Como projetar o NFV em *data center*, com integração, granularidade, tempo de implantação, gerenciamento, manutenção e operações sustentáveis?
- Como considerar a latência mínima do *data center* ao distribuir as VNF geograficamente?
- Como economizar energia em *data center* durante a replicação de rede VNF ao mesmo tempo que maximiza a disponibilidade?
- Como construir, de forma eficiente, um SFC adequado em relação aos objetivos do operador?
- Como mapear VNF na rede de substrato do *data center*, considerando o mapeamento de nós e *links*?
- Como fazer um mapeamento eficiente requisições de rede virtual em uma rede de substrato compartilhada no *data centers*?

3.3. Escalonamento de VNF em *Data Center*

Um dos objetivos do escalonamento de recursos é identificar aqueles que são adequados, e em seguida realizar escalonamento das cargas de trabalho apropriadas, no tempo, e maximizar a utilização dos recursos disponíveis. O escalonador não só tem total informação acerca de todas as tarefas que estão em execução, pendente e utilização dos recursos, mas também gerencia a fila de tarefas e o conjunto de recursos. Assim, pode facilmente prever

o comportamento dos recursos, e é capaz de atribuir tarefas aos recursos, de acordo com determinados requisitos de QoS, como a utilização de CPU, disponibilidade, confiabilidade, a fim de manter um nível de qualidade de serviço necessário ou ainda minimizar o tempo de conclusão da carga de trabalho. Assim, torna-se importante ter um eficiente mapeamento da carga de trabalho de recursos, antes do processo de escalonamento [Singh and Chana 2016].

O problema de escalonamento em uma rede de *data center* tradicional têm muitos aspectos específicos ligados ao desenvolvimento de algoritmos, que são diferentes do padrão *router* escalonamento. Por exemplo, em um roteador ou *switch* projetado para operar em um *chassi* ou *rack* pode empregar um escalonamento centralizado para calcular uma correspondência entre os módulos de entrada e de saída em cada intervalo de tempo de transmissão [McKeown et al. 1999]. No entanto, em uma aplicação de NFV em *data center*, o problema de escalonamento procura auxiliar na melhoria da execução de cada função para minimizar o tempo de execução total sem degradar o desempenho do serviço e respeitando todas as precedências e dependências entre os VNFs que compõem a rede de substrato. Isso porque, normalmente, a execução VNFs deve ser realizada a fim de minimizar o tempo total de execução dos serviços de rede e, assim, obter melhor desempenho.

Na terminologia NFV, a economia de recursos é obtida por alocação de recursos sob demanda. Além disso, para aumentar a utilização de recursos, é possível usar técnicas de programação para permitir que os VNFs compartilhem o recurso. Assim, o problema escalonamento de recursos de NFV em *data center* é um trabalho desafiador, pois, para cargas de trabalho em *data center*, depende-se dos requisitos de qualidade de serviço (*Quality of Service* - QoS) da VNF. Os pesquisadores enfrentam problemas para selecionar o eficiente e apropriado algoritmo de programação de recursos para uma carga de trabalho específica. Assim, partindo da observação de que o tráfego em um *data center* é uma mistura de componentes relativamente estáticos e rapidamente flutuantes, acreditamos que seja interessante aplicar estratégias de escalonador para ambos os componentes usando uma generalização do balanceamento de carga. Para tal, alguns dos desafios encontrados são

- Como realizar escalonamento para executar cada função para minimizar o tempo de execução total sem degradar o desempenho do serviço e respeitando todas as precedências e dependências entre os VNFs que compõem a rede de substrato do *data center*?
- Como realizar escalonamento no *data center* de forma rigorosa com despesas de orçamento mínimo e aumenta o lucro global?
- Como reduzir o consumo de energia sem violação do SLA no escalonamento efetivo de recursos em *data center*?
- Como realizar um balanceamento eficiente da carga através do escalonamento das cargas de trabalho nos recursos disponíveis no *data center*?
- Como planejar um escalonamento robusto para serviços heterogêneos, considerando menos chances de falha não planejada em *data center*?
- Como reduzir o custo de execução e cumprir o prazo ao mesmo tempo na alocação de VNF no *data center*?
- Como reduzir o consumo de energia e seu impacto para o meio ambiente por meio de escalonamento no *data center* distribuído geograficamente?

- Qual a melhor técnica de algoritmo exato ou heurístico que devem ser consideradas para um escalonamento eficiente dos recursos no *data center*?
- Como realizar o escalonamento de recursos de VNF dinamicamente no *data center*?
- Como desenvolver um algoritmo de escalonamento de recursos através da utilização eficaz de VNF e manutenção do SLA no *data center*?
- Qual o impacto de VNF na carga e distribuição de tráfego de rede entre os SFC sobre o desempenho do *data center*?

3.4. Problemas de Falhas na Rede

Observamos que outros pesquisadores realizaram pesquisas abordando problemas de falhas em sistemas, bem como em outras áreas relacionados à alocação de recurso ou ao encadeamento de serviço [Natella et al. 2016], [Endo et al. 2016], [Xie et al. 2016], [Herrera and Botero 2016], [Radjenović et al. 2013]. No entanto, nosso trabalho complementa esses estudos por ter uma abordagem diferenciada, pois, a partir de uma observação desses trabalhos, juntamente com lacunas encontradas em alocação de NFV em *data center*, levantamos diversos problemas em aberto.

Dentro do conceito de dependabilidade [Avizienis et al. 2004] [Laprie 1992], encontram-se vários atributos relacionados à falha. A falha de uma VNF pode causar falha em outras funções subsequentes, levando a grande perda de dados que pode interromper serviços de comunicação. Neste artigo, levantamos desafios ainda não solucionados, também relacionados ao problema da capacidade de sobrevivência da rede em caso de falhas, o que pode causar graves interrupções do serviço devido às falhas em cascata e correlacionadas de vários nó(node) e *links*.

Falhas de redes relacionadas com alocação de recurso requerem abordagens sistêmicas, visando à melhoria da qualidade do sistema em termos de NFV aplicados ao *data center*. Para tal, listamos a seguir alguns desafios em aberto, seguindo as categorias de falhas de acordo com [Avizienis et al. 2004]:

- Como aplicar injeção de falha em VNF no *data center*?
- Qual a melhor técnica para predição de falha online de VNF no *data center*?
- Como planejar tolerância a falhas de SFC, quando as demandas de recursos podem mudar dependendo da carga de tráfego direcionada no *data center*?
- Qual a melhor técnica para detecção de falha em VNF no *data center*?
- Como planejar uma estratégia NFV tolerante a falhas de *data center*?
- Como executar provisionamento dinâmico de tolerância a falhas de NFV para *data center*?
- Como otimizar a utilização de VNF e minimizar o custo simultaneamente no *data center*?
- Como fazer previsão de defeitos, de forma eficiente, dos recursos em *data center*, a fim de reduzir o tempo de enfileiramento na fila da carga de trabalho?
- Como minimizar as pegadas de carbono e habilitar a capacidade dinâmica para manipulação e flutuação no provisionamento efetivo de recursos em nuvem?
- Como evitar, detectar e contornar *bugs* no projeto de *hardware* e *software*?
- Como gerenciar a altíssima complexidade dos sistemas atuais de computação construídos com dezenas de chips de milhões de transistores e com *software* de centenas de milhares de linhas de código?

- Como conciliar alta confiabilidade e alta disponibilidade com as crescentes demandas por alto desempenho em NFV no *data center*?
- Como identificar e classificar as várias cargas de trabalho em *data center*?
- Como reconhecer claramente as presentes e as futuras falhas de VNF no *data center*?
- Como minimizar o tempo de execução das cargas de trabalho para melhorar a utilização dos recursos de VNF no *data center*?
- Como projetar uma única arquitetura que possa atender aos requisitos de QoS de NFV no *data center*?
- Como priorizar a fila de reescalonamento, que nem sempre é suficiente para erradicar o efeito de degradação de classes de serviço tolerantes a atrasos elevados de NFV no *data center*?
- Qual a melhor estratégia de escalonamento para promover menor tolerância de atraso de configuração, como priorizar a fila de reescalonamento, reservar uma fração dos recursos disponíveis e aumentar o espaço de pesquisa fornecendo alguns caminhos extras de VNF no *data center*?

4. Considerações Finais

Esta revisão da literatura foi conduzida com base no conhecimento atual do uso e desafios de alocação de recurso para NFV em arquiteturas de *data center*. Os estudos referentes ao uso da arquitetura NFV no *data center* estão relacionados a SFC, mapeamento, escalonamento e falhas da rede. A alocação de recurso de NFV em *data center* é um problema com muitos desafios a serem resolvidos nessa implementação. O problema da computação de soluções de alocação é NP-difícil. Por isso, existe uma forte demanda por algoritmos eficientes para resolver o problema. Assim, resumimos a pesquisa disponível com base em trabalhos disponíveis na web existente e apresentamos os desafios para pesquisa avançada que influenciam a disponibilidade, o desempenho e a eficiência energética dos recursos da rede do *data center*. Acreditamos que são grandes oportunidades de pesquisa no IETF para esta área. Vale a pena notar que há pouca preocupação da literatura considerando o mapeamento de SFC para o *data center*. Este é um ponto promissor para o trabalho futuro, uma vez que abordagens centralizadas sofrem com problema de escalabilidade e podem ser inviáveis em algumas situações, por exemplo, vários provedores.

Referências

- Aldrin, S., Krishnan, R. R., Akiya, N., Pignataro, C., and Ghanwani, A. (2016). Service Function Chaining Operation, Administration and Maintenance Framework. Internet-Draft draft-ietf-sfc-oam-framework-01, Internet Engineering Task Force. Work in Progress.
- Amaldi, E., Coniglio, S., Koster, A. M., and Tieves, M. (2016). On the computational complexity of the virtual network embedding problem. *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, 52:213–220.
- Arregoces, M. and Portolani, M. (2003). *Data center fundamentals*. Cisco Press.
- Avizienis, A., Laprie, J.-C., Randell, B., and Landwehr, C. (2004). Basic concepts and taxonomy of dependable and secure computing. *IEEE transactions on dependable and secure computing*, 1(1):11–33.

- Avramov, L. and Rapp (2016). Data Center Benchmarking Methodology. Internet-Draft draft-ietf-bmwg-dcbench-methodology-03, Internet Engineering Task Force. Work in Progress.
- Callegati, F., Cerroni, W., and Contoli, C. (2016). Virtual networking performance in openstack platform for network function virtualization. *Journal of Electrical and Computer Engineering*, 2016.
- Chiosi, M., Clarke, D., Willis, P., Reid, A., Feger, J., Bugenhagen, M., Khan, W., Fargano, M., Cui, C., Deng, H., et al. (2012). Network functions virtualisation: An introduction, benefits, enablers, challenges and call for action. In *SDN and OpenFlow World Congress*, pages 22–24.
- Clayman, S., Maini, E., Galis, A., Manzalini, A., and Mazzocca, N. (2014). The dynamic placement of virtual network functions. In *Network Operations and Management Symposium (NOMS), 2014 IEEE*, pages 1–9. IEEE.
- Do, T.-X. and Kim, Y.-H. (2017). High Availability Mechanisms for Service Function Chaining. Internet-Draft draft-xuan-nfvrg-ha-sfc-01, Internet Engineering Task Force. Work in Progress.
- Endo, P. T., Rodrigues, M., Gonçalves, G. E., Kelner, J., Sadok, D. H., and Curescu, C. (2016). High availability in clouds: systematic review and research challenges. *Journal of Cloud Computing*, 5(1):16.
- ETSI (2013). Network functions virtualisation (NFV)-virtual network functions architecture. Technical report, ETSI, Tech. Rep.
- ETSI (2014). NFV performance & portability best practises. *ETSI Standard GS NFV-PER*, 1.
- Fan, X., Weber, W.-D., and Barroso, L. A. (2007). Power provisioning for a warehouse-sized computer. *SIGARCH Comput. Archit. News*, 35(2):13–23.
- Feamster, N., Rexford, J., and Zegura, E. (2013). The road to sdn. *Queue*, 11(12):20.
- Herrera, J. G. and Botero, J. F. (2016). Resource allocation in nfv: A comprehensive survey. *IEEE Transactions on Network and Service Management*, 13(3):518–532.
- Huang, P.-H., Li, K.-W., and Wen, C. H.-P. (2015). NACHOS: Network-aware chains orchestration selection for NFV in SDN datacenter. In *Cloud Networking (CloudNet), 2015 IEEE 4th International Conference on*, pages 205–208. IEEE.
- IHS Markit (2015). NFV market to grow more than 5-fold through 2019, says ihs. <http://www.infonetics.com/pr/2015/NFV-Market-Highlights.asp>.
- Kooli, M. and Di Natale, G. (2014). A survey on simulation-based fault injection tools for complex systems. In *Design & Technology of Integrated Systems In Nanoscale Era (DTIS), 2014 9th IEEE International Conference On*, pages 1–6. IEEE.
- Kumar, S., Tufail, M., Majee, S., Captari, C., and Homma, S. (2017). Service Function Chaining Use Cases In Data Centers. Internet-Draft draft-ietf-sfc-dc-use-cases-06, Internet Engineering Task Force. Work in Progress.
- Laprie, J.-C. (1992). Dependability: Basic concepts and terminology. In *Dependability: Basic Concepts and Terminology*, pages 3–245. Springer.

- Liu, G. and Wood, T. (2015). Cloud-scale application performance monitoring with SDN and NFV. In *Cloud Engineering (IC2E), 2015 IEEE International Conference on*, pages 440–445. IEEE.
- Maini, E. and Manzalini, A. (2014). Management and orchestration of virtualized network functions. In *IFIP International Conference on Autonomous Infrastructure, Management and Security*, pages 52–56. Springer.
- McKeown, N., Mekkittikul, A., Anantharam, V., and Walrand, J. (1999). Achieving 100% throughput in an input-queued switch. *IEEE Transactions on Communications*, 47(8):1260–1267.
- Miller, R. (2011). A look inside amazon’s data centers. *Data Center Knowledge*.
- Moens, H. and De Turck, F. (2014). VNF-P: A model for efficient placement of virtualized network functions. In *Network and Service Management (CNSM), 2014 10th International Conference on*, pages 418–423. IEEE.
- Natella, R., Cotroneo, D., and Madeira, H. S. (2016). Assessing dependability with software fault injection: A survey. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 48(3):44.
- Ponemon Institute (2016). Cost of data center outages by emerson network power. <http://files.server-rack-online.com/2016-Cost-of-Data-Center-Outages.pdf>.
- Quinn, P. and Halpern, J. M. (2014). Service Function Chaining (SFC) Architecture. Internet-Draft draft-quinn-sfc-arch-05, Internet Engineering Task Force. Work in Progress.
- Radjenović, D., Heričko, M., Torkar, R., and Živkovič, A. (2013). Software fault prediction metrics: A systematic literature review. *Information and Software Technology*, 55(8):1397–1418.
- Rankothge, W., Ma, J., Le, F., Russo, A., and Lobo, J. (2015). Towards making network function virtualization a cloud computing service. In *Integrated Network Management (IM), 2015 IFIP/IEEE International Symposium on*, pages 89–97. IEEE.
- Riccobene, V., Lombardo, A., Manzalini, A., and Schembra, G. (2014). Network functions at the edge (netfate): design and implementation issues. *National Telecommunications and Information Theory Group (GTTI)*.
- Rosa, R. V., Santos, M. A. S., and Rothenberg, C. E. (2015). MD2-NFV: The case for multi-domain distributed network functions virtualization. In *Networked Systems (NetSys), 2015 International Conference and Workshops on*, pages 1–5. IEEE.
- Salfner, F., Lenk, M., and Malek, M. (2010). A survey of online failure prediction methods. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 42(3):10.
- Samuel, K. and Rapp (2017). Considerations for Benchmarking Network Virtualization Platforms. Internet-Draft draft-skommu-bmwg-nvp-00, Internet Engineering Task Force. Work in Progress.
- Schaffrath, G., Werle, C., Papadimitriou, P., Feldmann, A., Bless, R., Greenhalgh, A., Wundsam, A., Kind, M., Maennel, O., and Mathy, L. (2009). Network virtualization architecture: proposal and initial prototype. In *Proceedings of the 1st ACM workshop on Virtualized infrastructure systems and architectures*, pages 63–72. ACM.

- Shen, W., Yoshida, M., Kawabata, T., Minato, K., and Imajuku, W. (2014). vConductor: An NFV management solution for realizing end-to-end virtual network services. In *Network Operations and Management Symposium (APNOMS), 2014 16th Asia-Pacific*, pages 1–6. IEEE.
- Singh, S. and Chana, I. (2016). Qos-aware autonomic resource management in cloud computing: a systematic review. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 48(3):42.
- Soares, J. and Sargento, S. (2015). Optimizing the embedding of virtualized cloud network infrastructures across multiple domains. In *Communications (ICC), 2015 IEEE International Conference on*, pages 442–447. IEEE.
- Szabo, R., Figueira, N., and Lee, S. (2016). Policy-Based Resource Management. Internet-Draft draft-irtf-nfvrg-policy-based-resource-management-02, Internet Engineering Task Force. Work in Progress.
- Vieira, M., Madeira, H., Irrera, I., and Malek, M. (2009). Fault injection for failure prediction methods validation. In *40th Int'l Conference on Dependable Systems and Networks (5th Workshop on Hot Topics in System Dependability)*.
- Wang, R., Hu, H., and Yang, X. (2014). Potentials and challenges of C-RAN supporting multi-rats toward 5G mobile networks. *IEEE Access*, 2:1187–1195.
- Xia, M., Shirazipour, M., Zhang, Y., Green, H., and Takacs, A. (2015). Optical service chaining for network function virtualization. *IEEE Communications Magazine*, 53(4):152–158.
- Xie, Y., Liu, Z., Wang, S., and Wang, Y. (2016). Service function chaining resource allocation: A survey. *arXiv preprint arXiv:1608.00095*.
- Zúñiga, J.-C., Bernardos, C. J., Rahman, A., Contreras, L. M., Lynch, P., and Aranda, P. A. (2017). Network Virtualization Research Challenges. Internet-Draft draft-irtf-nfvrg-gaps-network-virtualization-05, Internet Engineering Task Force. Work in Progress.

Avaliação de desempenho de um controlador SDN implementado como uma VNF

Danyel Mendes¹, Marcelo Santos², Stenio Fernandes³

¹Instituto Federal Sertão Pernambucano
Serra Talhada – PE, Brasil

²Instituto Federal Sertão Pernambucano
Salgueiro – PE, Brasil

³Centro de Informática (CIn)
Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)
Recife – PE, Brasil

{danyel.mendes, marcelo.santos}@ifsertao-pe.edu.br sflf@cin.ufpe.br

Abstract. *In the present work, we performed experiments with an SDN controller implemented as a virtual network function in the KVM and XEN open source hypervisors and compared the most critical performance parameters in relation to a native scenario in order to measure the degradation of performance caused by Virtualization. We use Cbench to emulate SDN networks and evaluate the performance and latency of the Floodlight controller. We found that controller virtualization in the KVM environment resulted in degraded processing of flows by 29%, showed an increase in response time of 22% and utilized the processor much less than the Xen environment, which despite having overloaded the CPU in 25%, was able to achieve the best performance, response time and the lowest use of RAM.*

Resumo. *No presente trabalho, realizamos experimentos com um controlador SDN implementado como uma função de rede virtual nos hipervisores de código aberto KVM e XEN e comparamos os parâmetros de desempenho mais críticos em relação a um cenário nativo com o propósito de mensurar a degradação de desempenho causada pela virtualização. Utilizamos Cbench para emular redes SDN e avaliar o desempenho e a latência do controlador Floodlight. Descobrimos que a virtualização do controlador no ambiente KVM resultou na degradação do processamento de fluxos em 29%, apresentou um aumento do tempo de resposta de 22% e utilizou bem menos o processador em relação ao ambiente Xen, que apesar de ter sobrecarregado a CPU em 25%, foi capaz de atingir o melhor desempenho, tempo de resposta e a menor utilização de memória RAM.*

1. Introdução

Funções de rede têm sido implementadas por operadores e provedores de serviços em diversos *middleboxes* dedicados proprietários há décadas. Como resultando, temos o aumento de custos OPEX /CAPEX, dificuldade de implantação e gerenciamento de novas funções e serviços. Do ponto de vista dos protocolos e infraestrutura atual da Internet,

temos ainda o problema conhecido como ossificação da internet, fator que tem dificultado o avanço e o crescimento da rede. Neste contexto, a virtualização de funções de rede (NFV - *Network Function Virtualization*) surge como uma solução para a infraestrutura pouco flexível atual da rede que precisa atender as crescentes demandas dos usuários e de novos serviços (JEON; LEE, 2015).

Atualmente, NFV e Redes definidas por software (SDN) são conceitos complementares e estritamente relacionados e a integração entre esses dois paradigmas é denominada de arquitetura *NFV definida por software* (LI; CHEN, 2015). SDN pode beneficiar NFV fornecendo conectividade de rede programável entre funções virtuais e direcionamento de tráfego otimizado no encadeamento de VNFs. Esta integração de tecnologias possibilita maior domínio e agilidade no direcionamento de tráfego, sendo utilizada principalmente em aplicações de encadeamento de serviços, fornecendo também a capacidade de otimização de funções e recursos de rede. Como exemplo, nesse contexto, um controlador SDN pode ser virtualizado como uma NF (*Network Functions* – funções de rede), permitindo a criação e migração dinâmica destas para outros pontos da rede (LI; CHEN, 2015).

Junto com os benefícios trazidos pela virtualização de funções de rede, surgem preocupações com o desempenho, uma vez que fornecer desempenho equiparável as NF implementadas em soluções dedicadas de hardware é um dos grandes desafios de NFV (MIJUMBI et al., 2015), visto que investigações recentes demonstram a degradação de desempenho imposta pelo uso de camadas de virtualização (EIRAS et al., 2016). Neste contexto, em um cenário cuja integração entre SDN e NFV está sendo cada vez mais intensificada, justifica-se a importância de avaliarmos um controlador SDN implementado como uma *função de rede virtual* – VNF, verificando as implicações da virtualização nos parâmetros de desempenho mais críticos. Questões relacionadas a virtualização e desempenho em NFV são pontos discutidos em grupos da IETF/IRTF, especialmente o grupo NFVRG. Especificamente o draft “*Network Virtualization Research Challenges*” (IETF, 2017) traz uma discussão sobre alguns desses desafios.

Apresentamos neste artigo, uma avaliação de desempenho de um controlador SDN implementado como uma função de rede virtualizada. Utilizamos a ferramenta Cbench (LAISSAOUI et al., 2015) como gerador de fluxos e comparamos os resultados obtidos com a execução do controlador diretamente sobre o hardware (sem uma camada adicional de virtualização). O objetivo é mensurar a degradação de desempenho causada pela virtualização nos hypervisores de código aberto KVM (KIVITY et al., 2007) e Xen (BARHAM et al., 2003). Os testes se concentram em medir o desempenho de rede, utilização de CPU total e memória do controlador SDN Floodlight (FLOODLIGHT, 2016). Mensurar o impacto das camadas de virtualização utilizadas sob o controlador Floodlight é a principal contribuição deste trabalho.

O restante deste artigo está estruturado da seguinte forma: Na **sessão 2** apresentamos o referencial teórico necessário para a compreensão dos principais conceitos relacionados com este trabalho. Na **sessão 3** apresentamos alguns trabalhos relacionados mais relevantes, enquanto a metodologia utilizada nesta avaliação e o ambiente de teste são apresentados na **sessão 4**. Na **sessão 5**, apresentamos e discutimos os resultados obtidos. Alguns direcionamentos para trabalhos futuros serão abordados na **sessão 6** e finalmente, apresentaremos as principais conclusões sobre a investigação realizada neste artigo na **sessão 7**.

2. Referencial teórico

2.1. Virtualização

A virtualização possibilita o compartilhamento e a utilização eficiente de recursos computacionais que eram subutilizados em cenários tradicionais, pautados no paradigma servidor por carga de trabalho. Posteriormente, essas cargas de trabalho – que ocupavam uma pequena fatia dos recursos de um servidor físico, passaram a ser hospedadas em computadores virtuais com o devido isolamento e segurança, em um cenário idêntico a um computador real (MANIK, 2016).

A virtualização possibilita o compartilhamento de cargas de trabalho distintas e isoladas em várias instâncias de máquinas virtuais hospedadas em um único host físico. Neste sentido, os recursos computacionais dos servidores são otimizados, proporcionando a redução de custos com hardware e energia, eficiência, confiabilidade, disponibilidade, flexibilidade e segurança (WANG; NG, 2010).

Em um cenário convencional, podemos entender virtualização como uma tecnologia que possibilita a execução de várias instâncias de sistemas operacionais em um único hardware através de uma camada de abstração de software inserida entre o hardware e os sistemas operacionais virtualizados e suas aplicações. Em um ambiente virtualizado temos dois tipos de sistemas: Hospedeiro e visitante. O hospedeiro – *Host*, é o sistema operacional que é instalado de forma nativa na máquina, imediatamente sobre o hardware. O sistema visitante – *Guest*, é instalado em uma máquina virtual – VM, virtualizada pelo sistema hospedeiro (WANG; NG, 2010) (MANIK, 2016).

A camada de abstração comumente é denominada VMM – Monitor de máquina virtual ou hypervisor, e tem a função de gerenciar os dispositivos físicos do computador, permitindo que várias instâncias de computadores virtuais executem simultaneamente através do compartilhamento de hardware, otimizando a utilização de recursos. Um VMM gerencia os recursos de hardware, possibilita a criação de unidades lógicas denominadas máquinas virtuais – VMs e garante o isolamento de recursos e segurança (SAHOO, 2010) (SEMNANIAN et al., 2010) (SORIGA; BARBULESCU, 2013).

2.2. Modos de virtualização

A maneira como as máquinas virtuais são virtualizadas no hypervisor referem-se aos modos de virtualização. Apresentaremos a seguir os dois modos que se relacionam com este trabalho: Virtualização total (full) e para-virtualização.

Virtualização total. Também denominada emulação de hardware, a virtualização total ou *Full*, não exige a modificação do sistema operacional convidado (*Guest*). Desta maneira, o sistema *Guest* tem a ilusão de estar sendo executado sobre um hardware físico porque a existência de uma camada de abstração de software é transparente para o sistema convidado. Esta abordagem traz uma degradação de desempenho significativa para o sistema operacional visitante porque o comportamento do hardware físico é simulado pelo hypervisor. Antes da execução de qualquer instrução do sistema operacional convidado, o hypervisor realiza um teste para determinar se a instrução é privilegiada ou não, o que acaba reduzindo consideravelmente o desempenho do sistema devido ao custo adicional de processamento. Na virtualização *full*, o hypervisor provê um ambiente virtual para as VMs semelhante a uma réplica do hardware, é executado acima deste e realiza a gestão de recursos físicos da máquina, tais como memória, processamento, E/S e rede (SAHOO, 2010).

Para-virtualização. A para-virtualização é uma técnica que contorna algumas limitações fundamentais da virtualização total, principalmente o desempenho. Diferentemente da virtualização total, a para-virtualização (também denominada virtualização assistida por sistema operacional) requer a modificação do kernel do sistema convidado para que este possa “enxergar” o hypervisor e trabalhar em conjunto com o mesmo. Sahoo et al. (2010) afirma que um sistema convidado para-virtualizado sabe que está sendo virtualizado (SAHOO, 2010). Essa abordagem consegue oferecer um desempenho muito melhor que a virtualização total nos aspectos de CPU, memória e E/S através do suporte especial ao kernel do Linux, que acaba sendo uma desvantagem nos aspectos de compatibilidade e controle de versões de sistemas convidados (BARHAM et al., 2003).

2.3. Kernel-Based Virtual Machine (KVM)

O Kernel-Based Virtual Machine (KIVITY et al., 2007) é um gerenciador de máquinas virtuais (VMM) de código aberto baseado em plataforma x86, desenvolvido e mantido pela Qumranet, Inc. que implementa a virtualização total através das extensões de virtualização da Intel VT-x e AMD-V (SORIGA; BARBULESCU, 2013). O KVM foi integrado ao kernel Linux em 2007 e o transforma em um hypervisor que aproveita as vantagens do kernel padrão, que incorpora as capacidades de virtualização nativa. O KVM consiste em um módulo carregável denominado *kvm.ko* que implementa as funcionalidades fundamentais de virtualização como agendamento do processador e gerenciamento de memória e um módulo específico do processador, *kvm-intel.ko* ou *kvm-amd.ko*. Para simular componentes de hardware de um computador, o KVM utiliza um emulador QEMU (BELLARD, 2005) estreitamente modificado que executa no espaço de utilizador e fornece um modelo de operações de E/S (KIVITY et al., 2007).

2.4. Xen

Xen (BARHAM et al., 2003) é um hypervisor de código aberto muito popular que implementa a para-virtualização de máquinas, é baseado principalmente na plataforma x86 e suporta vários sistemas operacionais, incluindo Linux, Solares, Windows e algumas versões BSD. Xen apresenta um desempenho muito melhor do que a virtualização total quando a máquina hospedeira não possui suporte a virtualização assistida por hardware, mas é preciso que os sistemas convidados sejam alterados para dar suporte à para-virtualização. Xen suporta para-virtualização desde a sua concepção e alcança um desempenho muito próximo ao do host com o custo da modificação do kernel do sistema operacional hospedeiro (SORIGA; BARBULESCU, 2013). Com o surgimento das tecnologias de suporte a virtualização de hardware, Xen também passou a suportar a virtualização total, não necessitando, portanto, da modificação dos sistemas operacionais visitantes (BARHAM et al., 2003).

2.5. Virtualização de funções de rede (NFV)

Através da virtualização de funções de rede (NFV) podemos dissociar as funções de rede de um hardware específico, de forma que serviços podem executar como componentes de software em uma arquitetura virtualizada, eliminando tanto a dependência de hardware específico de determinado fornecedor quanto o fim dos ciclos de vida reduzidos do hardware proporcionados pelos avanços e inovação tecnológica. NFV é um conceito que transfere as funções de rede dos hardwares dedicados de fornecedores específicos para a execução em aplicações baseadas em software. As

funções de rede virtualizadas (VNFs) executam em equipamentos através da virtualização em plataformas consolidadas no mercado, como servidores de alto desempenho. Entre os benefícios principais de NFV estão a melhor eficiência nos gastos de capital (CAPEX) em relação a aquisição de um hardware dedicado, rápida implementação de novos serviços, flexibilidade na definição de funções de rede, redução de energia elétrica, padronização de interfaces e melhoria de eficiência nos processos operacionais (MIJUMBI et al., 2015).

2.6. Redes definidas por software (SDN)

As redes definidas por software é um paradigma que quebra a integração vertical, com a separação radical dos planos de encaminhamento de pacotes e de controle, fornecendo aplicativos com uma visão centralizada abstrata do estado distribuído da rede. Os planos de dados e controle são interligados por interfaces públicas, e possibilitam a programação direta do plano de controle. Desta forma, todas as políticas de rede podem ser implementadas e gerenciadas de forma logicamente centralizada em um controlador, possibilitando a gerencia da rede como uma entidade única e programável. O padrão amplamente utilizado e consolidado para redes SDN é o *OpenFlow* (NUNES et al., 2014). Nas redes SDN, toda a inteligência se encontra logicamente centralizada em controladores baseados em software (plano de controle) e os dispositivos de rede tornam-se elementos de encaminhamento simples de pacotes (plano de dados), que podem ser programados através de uma interface aberta como o *OpenFlow* (NUNES et al., 2014).

3. Trabalhos relacionados

Desde o surgimento das redes SDN, muitas comparações entre controladores SDN foram realizadas, abordando principalmente análises comparativas de throughput e latência com a utilização de Cbench como em (LAISSAOUI et al., 2015) e (KHATTAK et al., 2014). Esses trabalhos geralmente comparam vários controladores de código aberto, apresentando uma análise quantitativa de rendimento e tempo de resposta. Os cenários quase sempre compreendem a variação do número de switches e threads com o propósito de avaliar a escalabilidade do controlador como em (TOOTOONCHIAN et al., 2012), (SHALIMOV et al., 2013), (ERICKSON, 2013), (ZHAO et al., 2015) e (SALMAN et al., 2016).

Tootoonchian et al. (2012) foi um dos pioneiros nos estudos comparativos de controladores SDN, confrontando apenas NOX-MT, Beacon e Maestro. Em (SHALIMOV et al., 2013), uma ferramenta de benchmark chamada hcprobe foi utilizada em uma análise comparativa da eficácia dos controladores Beacon, NOX, POX, Floodlight, MuL, Maestro e Ryu. Em (LAISSAOUI et al., 2015), Floodlight superou os controladores populares de código aberto Beacon, Pox, Ryu em termos de throughput e latência. Zhao et al. (2015) realizou uma avaliação de desempenho abrangente de controladores SDN e concluiu que Beacon tem o melhor desempenho, enquanto Ryu é melhor nos aspectos de usabilidade e popularidade (ZHAO et al., 2015). Salman et al. (2016) realizou uma avaliação de desempenho e latência de controladores mais recentes utilizando Cbench e concluiu que MuL, Beacon e Maestro tem o melhor tempo de resposta (SALMAN et al., 2016). Outras investigações tiveram foco em ferramentas de benchmark, como o trabalho desenvolvido por (JARSCHEL et al., 2012), que propôs uma ferramenta de benchmark flexível de controladores OpenFlow capaz de criar switches virtuais customizáveis. Por outro lado, (KHATTAK et al., 2014) ressaltou limitações

relativas a Cbench e propôs alterações para adaptá-lo aos cenários de tráfegos de datacenters reais de natureza mais complexa.

Na perspectiva NFV, ultimamente, a IETF – Benchmarking Methodology Working Group (BMWG) têm discutido metodologias de benchmarking para a infraestrutura NFV (NFVI) e funções de rede virtuais em (HUANG et al., 2015). Kim et al. (2015) define métricas de avaliação comparativa de desempenho e confiabilidade de SDN e NVF enquanto (WANG, 2016) se concentra mais em escalabilidade e desempenho de VNFs. Estudos comparativos com cadeias de serviço NFV foram realizados em (BONAFIGLIA et al., 2015) e (ANDERSON et al., 2016). O primeiro apresenta um estudo comparativo das principais tecnologias de virtualização no aspecto do encadeamento de VNFs enquanto o segundo compara o desempenho de rede de VNFs baseadas em contêineres em comparação com a tecnologia de máquinas virtuais.

Alguns trabalhos avaliaram também o desempenho de uma função de rede virtual específica quando a mesma é virtualizada em hipervisores tradicionais em comparação com a recente tecnologia de containers como em (EIRAS et al., 2016) e (MAURICIO et al., 2016). O primeiro conclui que um proxy HTTP virtualizado em Docker solicita HTTP em um tempo menor que em KVM e que um container Docker pode ser duas vezes mais rápido que uma VM baseada em KVM. O segundo implementou um firewall na plataforma OPNFV e verificou que a VNF forneceu capacidade elástica e escalável, atendendo as demandas de tráfego esperadas.

Apesar de algumas investigações recentes terem abordado o desempenho de controladores SDN e a avaliação de VNFs sobre diversas perspectivas, este documento é o primeiro a investigar os overheads de virtualização sobre um controlador SDN virtualizado nos hipervisores KVM e XEN.

4. Metodologia e ambiente de teste

4.1. Ambiente de testes

Os experimentos foram executados utilizando dois computadores conectados por um enlace de 1 Gbps em um ambiente de rede de topologia ponto-a-ponto conforme mostra a **Figura 1**.

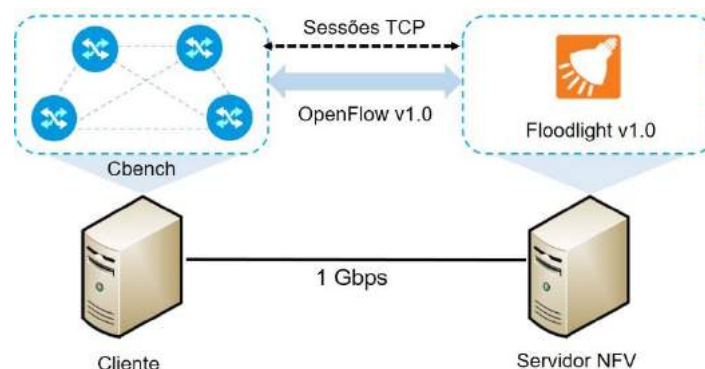


Figura 1. Ambiente de testes utilizado nos experimentos

O servidor possui um único processador Intel Core i5-4590 de 4 núcleos lógicos rodando a 3.30 GHz, 8 GB de RAM e 1 TB de disco rígido enquanto o gerador de tráfego possui 2 processadores Intel (R) Xeon (TM) CPU 3.60 GHz com 4 núcleos lógicos, 2 GB

de RAM e 200 GB de disco rígido. O OpenJDK (IcedTea 2.6.6) foi o ambiente de execução instalado para suportar o controlador SDN no servidor.

O controlador Floodlight (FLOODLIGHT, 2016) versão v1.0 foi configurado na forma padrão de acordo com as diretrizes do site oficial. O sistema operacional Debian GNU/Linux 8 (Jessie) foi instalado no servidor e nas duas máquinas virtuais que hospedaram as VNFs com kernel versão 3.16.0-4-amd64, enquanto o gerador de tráfego hospedou um sistema Debian GNU/Linux 8 com kernel 3.16.0-4-686-pae por se tratar de uma arquitetura i686. As duas máquinas virtuais foram configuradas de modo a serem idênticas ao host que hospedou a função de rede física. A **Tabela 1** exibe a configuração das VNFs virtualizadas nos hypervisores KVM e Xen.

Tabela 1. Configuração das VNFs

VNF	
Sistema	Debian GNU/Linux 8
Linux Kernel	3.16.0-4-amd64
vCPUs	4
vRAM	4 GB
vNICs	1
vDisc	20 GB
Tipo da VNF	Controlador Floodlight v1.0

4.2. Cbench

Cbench (LAISSAOUI et al., 2015) é uma ferramenta de benchmarking de controladores SDN que utiliza o protocolo OpenFlow v1.0. Cbench emula um conjunto configurável de switches que são conectados ao controlador a ser testado de modo que os comutadores são conectados a um número variável de hosts virtuais que podem se comunicar uns com os outros, gerando mensagens do plano de dados para o controlador (SALMAN et al., 2016). A partir da interação entre os hosts virtuais conectados à rede de comutadores, Cbench envia mensagens de solicitação de decisão de encaminhamento (*PACKET_IN*) para o controlador e espera receber a resposta para a solicitação enviada através de mensagens *FLOW_MOD*, sendo capaz de operar em dois modos: *Latency* e *Throughput*. No modo *latency*, cada switch configurado envia uma única mensagem e espera a resposta para obter o tempo necessário que o controlador utiliza para processar e responder à mensagem, repetindo várias vezes o processo. Desta forma, Cbench calcula a latência média a partir do número total de respostas recebidas no período de teste. No modo *throughput*, Cbench envia o maior número possível de mensagens *PACKET_IN* com o propósito de verificar a capacidade máxima de processamento do controlador (ZHAO et al., 2015).

4.3. Metodologia

Durante a realização dos testes, Cbench foi configurado para emular um número específico de switches capazes de enviar fluxos ao controlador instalado no servidor por um período de tempo determinado. Ao término de cada teste, coletamos os dados gerados pelo Cbench. Simultaneamente a execução de Cbench, os dados de CPU e memória RAM das funções de rede física e virtuais foram registrados pela ferramenta Collectl (COLLECTL, 2016) no servidor NFV.

Neste trabalho, consideramos 3 ambientes de testes: A função de rede física, VNF virtualizada em KVM (*VNF-KVM*) e VNF em máquina virtual XEN (*VNF-XEN*),

conforme apresenta a **Figura 2**. A função de rede física consiste em um controlador SDN instalado diretamente no host, sem a presença de um hypervisor. As funções de rede virtuais foram implantadas em máquinas virtuais (VMs) nos ambientes KVM e XEN, cujas VMs possuem o mesmo sistema operacional e configuração de hardware que o host físico. No ambiente da função física, para fins de comparação com as funções virtuais, foram retirados 4 GB de memória RAM do servidor temporariamente para a execução dos experimentos. Inicialmente, os testes foram feitos no modo *throughput* do Cbench com 1, 2, 4, 8, 16 e 32 switches. Logo após, alteramos o modo para *latency* e os experimentos foram refeitos variando-se o número de comutadores.

Após a conclusão dos testes com a função física, 4 GB de memória foram devolvidos ao host físico e o ambiente da VNF-KVM foi preparado com a criação de uma VM totalmente virtualizada no hypervisor KVM padrão com *QEMU 2.1.2*, de configuração idêntica ao do sistema operacional do host. Em seguida, iniciamos os experimentos com o controlador virtualizado no ambiente KVM, da mesma forma que no ambiente da função física. Após a conclusão dos testes com a VNF-KVM, preparamos o ambiente da VNF-XEN com o hypervisor *Xen 4.4-amd64* na configuração padrão (para-virtualização) e com a mesma configuração de software e hardware da máquina real. Os mesmos testes realizados em VNF-KVM foram feitos na VNF-XEN.

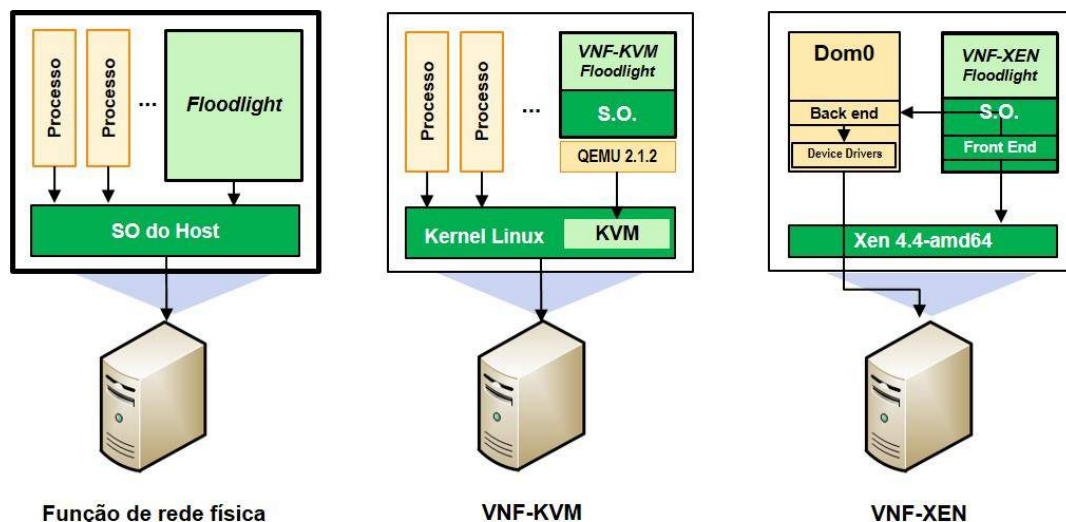


Figura 2. Configurações das funções de rede

A carga de trabalho gerada foi baseada nos experimentos realizados em (ZHAO et al., 2015). Cada experimento durou 8,33 minutos (500 testes de 1 segundo) com um número variável de comutadores, 100 hosts/switch e um modo Cbench (throughput ou latency). Para validar os resultados estatisticamente, repetimos 30 vezes cada experimento e adotamos um intervalo de confiança de 95%.

5. Avaliação de desempenho

Nesta seção, descreveremos os resultados dos experimentos executados com as funções de rede física e virtuais. Inicialmente, apresentaremos os dados de rendimento e tempo de resposta das funções de rede, em seguida vamos expor os resultados da utilização de CPU e por último, apresentaremos os resultados de alocação de memória.

5.1. Desempenho de rede

Enquanto as aplicações de rede geralmente são sensíveis ao processamento, as funções de rede realizam operações intensivas de entrada/saída de rede. Por exemplo, um servidor web que recebe uma solicitação HTTP pode demandar uma quantidade enorme de ciclos de CPU no processamento da solicitação antes de enviar a resposta ao cliente, enquanto um roteador opera basicamente com uma grande quantidade de decisões de encaminhamento, utilizando apenas poucos ciclos de CPU. Um controlador SDN realiza operações intensivas de rede, sendo o desempenho, um fator que merece bastante atenção no cenário NFV, principalmente se considerarmos os overheads de virtualização já amplamente investigados.

No campo de controladores SDN, as duas principais métricas de desempenho amplamente consideradas em diversas investigações são throughput e latência. Throughput refere-se ao rendimento da função de rede, ou seja, a quantidade de fluxos OpenFlow que o controlador é capaz de processar por segundo enquanto a latência mensura o tempo de resposta do controlador a uma mensagem *PACKET_IN* recebida de um comutador.

Tabela 2. Desempenho das funções de rede física e virtuais para 1 switch

Função de rede	T (rps/ms)	L (rps/ms)	T/L	1/L (ms)
Função Física	123,4	2,840	43,45	0,352
VNF-KVM	64,9	2,328	27,87	0,430
VNF-XEN	62,1	3,092	20,08	0,323

A **Tabela 2** mostra os valores de referência (apenas um switch) obtidos para throughput e latência, ambos em milissegundos para todas as funções de rede. O termo “rps/ms” significa respostas por milissegundo e a latência real é $1/L$, devido ao fato de Cbench utilizar o número de respostas sequenciais para calcular o atraso. Para Zhao et al. (2015), a proporção T/L corresponde a capacidade do controlador de processar múltiplos fluxos simultâneos e depende de aspectos de design dos controladores SDN (ZHAO et al., 2015). O Floodlight obteve um valor T/L menor nos cenários com virtualização, o que nos permite concluir que a virtualização também é um fator que reduz a capacidade de processamento de fluxos dos controladores. A seguir analisaremos o desempenho de rede do controlador.

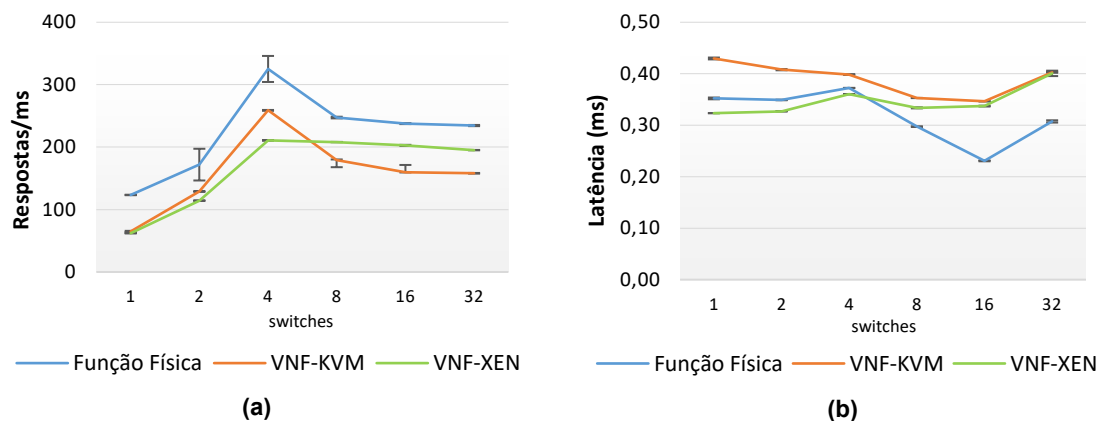


Figura 3. Throughput do controlador (a) e latência (b) para um número variáveis de switches

Throughput. Observando a **Figura 3 (a)** é possível observar que o throughput das funções de rede aumenta consideravelmente até atingir o rendimento máximo com quatro comutadores. A partir desse ponto, o rendimento tende a se manter constante a partir de 16 comutadores (em VNF-XEN esse declínio é mais suave), o que nos permite concluir que o desempenho degrada com o aumento do número de comutadores porque o controlador precisa lidar com um número crescente de solicitações simultâneas do plano de dados. Floodlight cria e mantém uma conexão TCP para cada comutador OpenFlow e estes podem enviar e receber pacotes enquanto houver espaço nos buffers do controlador. Não havendo espaço nos buffers, os pacotes são rejeitados, limitando o desempenho do controlador, que só é capaz de atender a um número de fluxos máximo por segundo. Esses fatores juntos reduzem a capacidade de resposta do controlador e tendem a degradar o seu desempenho com o crescimento da rede. A função de rede física mantém o desempenho bem superior as funções virtuais, independentemente do número de comutadores considerados no experimento.

Latência. É importante ressaltar que a latência apresentada nos gráficos é a latência real por comutador. Assim seu valor é determinado por $1/L$, onde L é o número de respostas por segundo. Conforme apresenta a **Figura 3 (b)**, A curva de latência da função de rede tem um comportamento diferente do esperado: A latência é praticamente constante até os 4 switches, decresce em 8 e 16 comutadores e depois aumenta quando a configuração tem 32. Esse comportamento da curva de latência apresentado é semelhante ao do controlador floodlight nos resultados dos experimentos apresentados por (SALMAN et al., 2016). Esse comportamento inesperado de Cbench também foi verificado em (KHATTAK et al., 2014) nos testes de latência realizados com o controlador OpenDaylight, cujo tempo de resposta também diminuiu com o número de switches emulados, sendo um comportamento que precisa ser melhor investigado. A **Figura 3 (b)** mostra de forma clara a diferença dos tempos de resposta do controlador para todas as funções de rede, sendo possível visualizar a degradação de desempenho provocada pela virtualização dos ambientes Xen e KVM. A VNF-KVM obteve o maior tempo de resposta porque utiliza virtualização total, cuja emulação de dispositivos de rede realizada por QEMU no espaço do usuário do host é onerosa e degrada o desempenho. A **Tabela 3** mostra o throughput e a latência do controlador normalizados para a função física.

Tabela 3. Desempenho das funções de rede normalizado para a função física

Desempenho de rede	Função de Rede		
	Física	VNF-KVM	VNF-XEN
Throughput	1	0,71	0,74
Latência	1	1,22	1,09

5.2. Desempenho de CPU

Um conjunto de funções de rede são muito sensíveis à taxa de transferência e latência por que em sua essência operam com o envio/recebimento de pacotes. No entanto, computação também é um fator crítico para o desempenho de boa parte das VNFs, sendo, portanto, necessário analisar o percentual de utilização de CPU do sistema, principalmente em ambientes virtuais que podem impor uma degradação de processamento considerável e limitar o desempenho geral da função de rede. Os valores de desempenho de CPU foram coletados pela ferramenta Collectl e referem-se ao percentual total de utilização do processador e seus núcleos, podendo chegar a 100%.

A **Figura 4 (a)** apresenta os resultados de utilização de CPU total para os testes de throughput. Analisando o gráfico, verificamos que a utilização de CPU das funções de rede aumenta gradualmente até 4 comutadores. Para mais de 4 comutadores, a VNF-XEN continua com a CPU sobrecarregada enquanto as demais funções de rede utilizam cerca de 65% da CPU a partir de 8 comutadores. Desta forma, podemos concluir que há uma relação entre o aumento do número de switches emulados e a utilização de CPU até 4 comutadores, mas o crescimento da rede e o consequente aumento de demandas do plano de dados diminuem a utilização do processador, com exceção da VNF-XEN, que aproveita bem a CPU no processamento de fluxos, apesar de sobrecarregar o processador com o ambiente para-virtualizado.

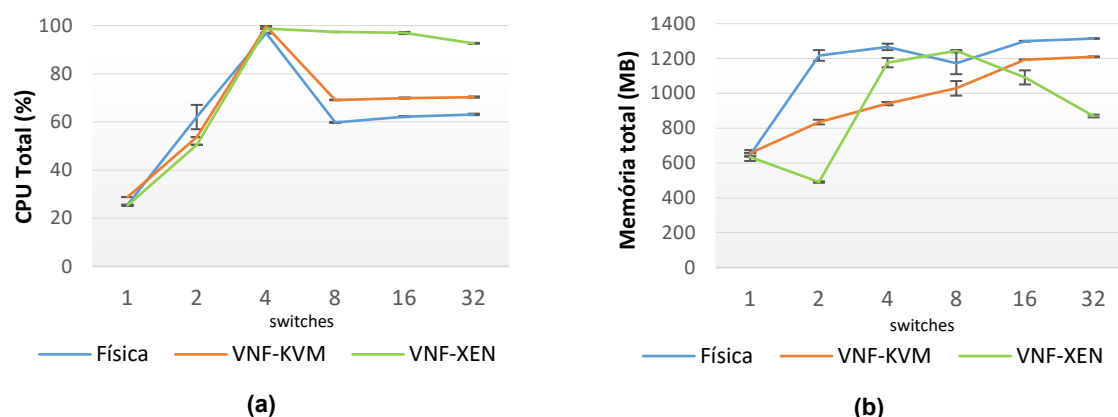


Figura 4. Desempenho de CPU (a) e memória (b) das funções de rede

Conforme podemos observar na **Figura 3 (a)**, a VNF-XEN tem o seu rendimento máximo em 4 comutadores e estabiliza a partir desse ponto devido ao esgotamento dos recursos da CPU para o processamento de fluxos, uma vez que o processador passa a ser bastante utilizado também no ambiente de virtualização, nas interações entre a VNF e o domínio privilegiado Xen. Esse fator limita o desempenho da VNF, que trabalha conjuntamente com o domínio privilegiado Dom0 para obter um melhor desempenho. O agendamento de CPU para a VNF-XEN é controlado por Dom0 ao invés de ser realizado diretamente pelo kernel do sistema como em KVM. Desta forma, a forte interação com Dom0 é o principal fator que degrada o processamento da VNF-XEN.

Por outro lado, o agendamento de processos (VMs) realizado pelo próprio KVM no host com privilégios de modo Kernel, resulta em baixa degradação de CPU na VNF-KVM (6%). O KVM é um módulo que se integra ao Kernel Linux, transformando-o em um hypervisor, e as VMs são processos que aguardam para serem escalonados pelo núcleo. A **Tabela 4** mostra a média de utilização de CPU total das funções de rede.

Tabela 4. Desempenho de CPU das funções de rede

CPU Total	Função de Rede		
	Função Física	VNF-KVM	VNF-XEN
CPU – Modo throughput	62%	65%	77%

5.3. Desempenho de Memória

Gerenciar a utilização de memória RAM com eficiência é um fator decisivo para o desempenho de qualquer sistema computacional, principalmente em cenários cujos

recursos são limitados. Aspectos de alocação de memória precisam ser considerados em avaliação de performance de VNFs porque o desempenho geral do sistema pode ser afetado negativamente se o mal gerenciamento da memória RAM resultar em acessos a memória secundária (que é mais lenta). Essa situação se agrava ainda mais em cenários virtualizados porque a E/S de disco ainda é um grande gargalo de desempenho de sistemas virtualizados (CHE et al., 2010).

Conforme mostra a **Figura 4 (b)**, de maneira geral, a alocação de memória tem um comportamento esperado: a utilização aumenta com o número de switches porque o controlador precisa processar um número maior de solicitações de plano de dados enviado pelos comutadores. No entanto, a alocação de memória tende a ficar estável quando a rede tem mais de 16 comutadores, exceto para VNF-XEN que não seguiu um padrão de alocação de memória RAM.

A única métrica não afetada negativamente pela virtualização da função de rede foi a memória, uma vez que as VNFs tiveram o desempenho degradado pela virtualização, processaram menos fluxos e conseqüentemente alocaram menos memória. A VNF-XEN obteve menor utilização de memória em relação a VNF-KVM provavelmente devido a otimização do acesso a memória realizado por Xen, pois a VNF não precisa notificar o hypervisor sobre atualizações nas tabelas de páginas a cada acesso a memória virtual. A **Tabela 5** mostra a alocação de memória média das funções de rede.

Tabela 5. Desempenho de memória das funções de rede

Memória Total	Função de Rede		
	Física	VNF-KVM	VNF-XEN
Memória – Modo throughput	1153 MB ≈ 28%	978 MB ≈ 24%	918 MB ≈ 22%

6. Conclusões

No presente trabalho, realizamos experimentos com um controlador SDN implementado como funções virtuais nos ambientes KVM e XEN, e comparamos os parâmetros de desempenho mais críticos em relação a um cenário nativo com o propósito de mensurar a degradação de desempenho causada pela virtualização de funções de rede.

Conforme mostra a **Tabela 3**, a virtualização do controlador SDN resulta em perdas significativas de desempenho, uma vez que as VNFs implementadas em KVM e Xen atingiram apenas 71% e 74% do rendimento da função física. O tempo de resposta do controlador também foi bastante prejudicado pela virtualização, sendo 22% maior no ambiente KVM e 9% em Xen. O controlador virtualizado em Xen obteve melhor rendimento e tempo de resposta porque utiliza para-virtualização enquanto KVM emula dispositivos de E/S no espaço de usuário host com QEMU.

Referente ao desempenho de CPU, a VNF apresentou uma degradação de 25% no ambiente Xen e 6% em KVM em relação a função física, o que nos permite concluir que a VNF-XEN sobrecarregou a CPU porque processou uma maior quantidade de fluxos e utilizou mais tempo de CPU no ambiente virtualizado. Acreditamos que a forte interação inter domínio e o agendamento de máquinas virtuais de Xen contribuíram com a sobrecarga de CPU na VNF. Por outro lado, KVM – que é um hypervisor integrado ao kernel Linux, insere uma pequena sobrecarga de processamento na VNF (6%) por que o agendamento de CPU para as VMs é realizado pelo próprio kernel, sugerindo a emulação de E/S como o grande responsável pela degradação de desempenho da VNF-KVM.

Os resultados dos experimentos mostram que a degradação de desempenho do controlador resultou em uma menor utilização de memória RAM nas VNFs. A VNF

alocou 24% da memória total em KVM e 22% em Xen representando, portanto, uma utilização de 6% e 4% menor em relação a função física. As otimizações de acesso a memória realizadas pelo hypervisor Xen podem ajudar a explicar a menor alocação de RAM na respectiva VNF.

Apesar da significativa sobrecarga de CPU, concluímos que, quando comparado a KVM, o hypervisor Xen é a melhor opção para a virtualização de controladores SDN. Nossos resultados mostraram que, quando virtualizado no ambiente Xen, um controlador SDN tem a menor degradação de desempenho, o melhor tempo de resposta e a menor alocação de memória RAM. No entanto, mesmo com a paravirtualização do ambiente Xen, a virtualização de um controlador SDN implica em uma considerável degradação de desempenho, tornando-se necessário avaliar tecnologias de virtualização mais “leves” e eficientes.

7. Trabalhos futuros

Futuramente, pretendemos avaliar o desempenho dos controladores baseado em Kernel Linux (IVASHCHENKO et al., 2014) e Beacon (ERICKSON, 2013), implementados como VNFs nos hypervisores Xen (virtualização total assistida por Hardware – HVM), KVM com drivers paravirtualizados *Virtio* (RUSSELL, 2008) e contêineres (FELTER et al., 2015), utilizando um maior número de comutadores OpenFlow. Pretendemos também, demonstrar que *Unikernels* (XAVIER et al., 2016) podem ser utilizados com tecnologias alternativas de implementação de dispositivos de rede como Macvlan (HICUBE, 2017) e SR-IOV (ANDERSON et al., 2016) para melhorar o desempenho de controladores SDN virtualizados.

Referencias

- ANDERSON, J.; AGARWAL, U.; LI, H.; SOFTWARE, D. Performance Considerations of Network Functions Virtualization using Containers. , p. 1–25, 2016.
- BARHAM, P.; DRAGOVIC, B.; FRASER, K.; et al. Xen and the art of virtualization. **ACM SIGOPS Operating Systems Review**, v. 37, n. 5, p. 164, 2003.
- BELLARD, F. QEMU , a Fast and Portable Dynamic Translator. **USENIX Annual Technical Conference. Proceedings of the 2005 Conference on**, p. 41–46, 2005.
- BONAFIGLIA, R.; CERRATO, I.; CIACCIA, F.; NEMIROVSKY, M.; RISSO, F. Assessing the Performance of Virtualization Technologies for NFV: a Preliminary Benchmarking. , p. 67–72, 2015.
- CHE, J.; YU, Y.; SHI, C.; LIN, W. A synthetical performance evaluation of OpenVZ, Xen and KVM. **Proceedings - 2010 IEEE Asia-Pacific Services Computing Conference, APSCC 2010**, p. 587–594, 2010.
- COLLECTL. Collectl. Disponível em: <<http://collectl.sourceforge.net/>>. Acesso em: 2/2/2017.
- EIRAS, R. S. V; COUTO, R. S.; RUBINSTEIN, M. G. Performance evaluation of a virtualized HTTP proxy in KVM and Docker. 2016 7th International Conference on the Network of the Future (NOF). **Anais...** . p.1–5, 2016. IEEE.
- ERICKSON, D. The beacon openflow controller. **Proceedings of the second ACM SIGCOMM workshop ...**, p. 13–18, 2013. Disponível em:

- <<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2491189>>. .
- FELTER, W.; FERREIRA, A.; RAJAMONY, R.; RUBIO, J. An updated performance comparison of virtual machines and Linux containers. **2015 IEEE International Symposium on Performance Analysis of Systems and Software (ISPASS)**, p. 171–172, 2015.
- FLOODLIGHT, P. Project Floodlight: Open Source Software for Building Software-Defined Networks. Disponível em: <<http://www.projectfloodlight.org/>>. Acesso em: 25/2/2017.
- HICUBE. Bridge vs Macvlan. Disponível em: <<http://hicu.be/bridge-vs-macvlan>>. Acesso em: 15/3/2017.
- HUANG, L.; GU, R.; LIU, D.; et al. Benchmarking Methodology for Virtualization Network Performance. Disponível em: <<https://tools.ietf.org/html/draft-huang-bmwg-virtual-network-performance-00>>. Acesso em: 26/3/2017.
- IETF. Network Virtualization Research Challenges. Disponível em: <<https://tools.ietf.org/html/draft-irtf-nfvrg-gaps-network-virtualization-02#page-15>>. Acesso em: 24/3/2017.
- IVASHCHENKO, P.; SHALIMOV, A.; SMELIANSKY, R. High performance in-kernel SDN/OpenFlow controller. **Usenix.Org**, p. 1–2, 2014.
- JARSCHER, M.; LEHRIEDER, F.; MAGYARI, Z.; PRIES, R. A flexible OpenFlow-controller benchmark. **Proceedings - European Workshop on Software Defined Networks, EWSDN 2012**, p. 48–53, 2012.
- JEON, H.; LEE, B. Network Service Chaining Challenges for VNF Outsourcing in Network Function Virtualization. , p. 819–821, 2015.
- KHATTAK, Z. K.; AWAIS, M.; IQBAL, A. Performance evaluation of OpenDaylight SDN controller. **Proceedings of the International Conference on Parallel and Distributed Systems - ICPADS**, v. 2015–April, p. 671–676, 2014.
- KIM, T.; KOO, T.; PAIK, E. SDN and NFV benchmarking for performance and reliability. **2015 17th Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium (APNOMS)**, p. 600–603, 2015.
- KIVITY, A.; LUBLIN, U.; LIGUORI, A.; KAMAY, Y.; LAOR, D. kvm: the Linux virtual machine monitor. **Proceedings of the Linux Symposium**, v. 1, p. 225–230, 2007.
- LAISSAOUI, C.; IDBOUFKER, N.; ELASSALI, R.; BAAMRANI, K. EL. A measurement of the response times of various OpenFlow / SDN controllers with CBench. , p. 0–1, 2015.
- LI, Y.; CHEN, M. Software-Defined Network Function Virtualization: A Survey. **IEEE Access**, v. 3, p. 2542–2553, 2015.
- MANIK, V. K. Performance Comparison of Commercial VMM : , p. 1771–1775, 2016.
- MAURICIO, L. A. F.; RUBINSTEIN, M. G.; DUARTE, O. C. M. B. Proposing and evaluating the performance of a firewall implemented as a virtualized network function. **2016 7th International Conference on the Network of the Future (NOF). Anais... .** p.1–3, 2016. IEEE.

- MIJUMBI, R.; SERRAT, J.; GORRICO, J.-L.; et al. Network Function Virtualization: State-of-the-art and Research Challenges. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, n. c, p. 1–1, 2015.
- NUNES, B. A. A.; MENDONCA, M.; NGUYEN, X. N.; OBRACZKA, K.; TURLETTI, T. A survey of software-defined networking: Past, present, and future of programmable networks. **IEEE Communications Surveys and Tutorials**, v. 16, n. 3, p. 1617–1634, 2014.
- RUSSELL, R. virtio: Towards a De-Facto Standard For Virtual I / O Devices. **ACM SIGOPS Operating Systems Review**, v. 42, p. 95–103, 2008.
- SAHOO, J. Virtualization : A Survey On Concepts , Taxonomy And Associated Security Issues. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, 2010.
- SALMAN, O.; ELHAJJ, I. H.; KAYSSI, A.; CHEHAB, A. SDN Controllers : A Comparative Study. , , n. 978, p. 18–20, 2016.
- SEMNANIAN, A. A.; PHAM, J.; ENGLERT, B.; WU, X. Virtualization technology and its impact on computer hardware architecture. **Proceedings - 2011 8th International Conference on Information Technology: New Generations, ITNG 2011**, p. 719–724, 2010.
- SHALIMOV, A.; ZIMARINA, D.; PASHKOV, V. Advanced Study of SDN / OpenFlow controllers. **Proceeding CEE-SECR '13 Proceedings of the 9th Central & Eastern European Software Engineering Conference in Russia**, 2013.
- SORIGA, S. G.; BARBULESCU, M. A comparison of the performance and scalability of Xen and KVM hypervisors. **Proceedings - RoEduNet IEEE International Conference**, 2013.
- TOOTOONCHIAN, A.; GORBUNOV, S.; GANJALI, Y.; CASADO, M.; SHERWOOD, R. On controller performance in software-defined networks. **Proceeding Hot-ICE'12 Proceedings of the 2nd USENIX conference on Hot Topics in Management of Internet, Cloud, and Enterprise Networks and Services**, p. 10–10, 2012.
- WANG, C. Toward High-Performance and Scalable Network Functions Virtualization. , 2016.
- WANG, G.; NG, T. S. E. The impact of virtualization on network performance of Amazon EC2 Data Center. **Proceedings - IEEE INFOCOM**, 2010.
- XAVIER, B.; FERRETO, T.; JERSAK, L. Time Provisioning Evaluation of KVM, Docker and Unikernels in a Cloud Platform. **Proceedings - 2016 16th IEEE/ACM International Symposium on Cluster, Cloud, and Grid Computing, CCGrid 2016**, p. 277–280, 2016.
- ZHAO, Y.; IANNONE, L.; RIGUIDEL, M. On the Performance of SDN Controllers : A Reality Check. , p. 79–85, 2015.

Analisando a participação do Brasil e dos demais países da América Latina nos encontros do IETF

**Juliao Braga¹, Patricia Takako Endo², Marcelo Santos³, Jéferson Campos Nobre⁴
Leylane Grazielle Ferreira da Silva², Gleyson Rhuan
Nascimento Campos², Nizam Omar⁵**

¹VRS at University of Saskatchewan
PPGEEC - UPM
São Paulo, SP

²Universidade de Pernambuco
Caruaru – PE – Brasil

³Instituto Federal do Sertão Pernambucano
Salgueiro, PE – Brasil

⁴Universidade do Vale do Rio dos Sinos
São Leopoldo, RS – Brasil

⁵Universidade Presbiteriana Mackenzie
São Paulo, SP – Brasil

juliao@braga.net.br, patricia.endo@upe.br

marcelo.santos@ifsertao-pe.edu.br, jcnobre@unisinos.br

leylanegrazielle@gmail.com, gleysonrhuan@gmail.com, nizam.omar@mackenzie.br

Abstract. *This paper discusses the participation of Brazilians in IETF meetings comparing with other countries in Latin America and the Caribbean. In addition, it describes the initiatives to incentivize participation in the development of documents and the movements that provide resources to finance such participations. It describes the Brazilian initiatives that stimulate participation and recommends others that once carried out in Brazil and other countries in Latin America and the Caribbean will increase the presence of more volunteers.*

Resumo. *Este artigo aborda a participação de brasileiros nos encontros do IETF comparando com outros países da América Latina e Caribe. Adicionalmente ele descreve as iniciativas de participação no desenvolvimento de documentos e os movimentos que disponibilizam recursos para financiar tais participações. Descreve as iniciativas brasileiras que estimulam a participação e recomenda outras que levadas a cabo no Brasil e em outros países da América Latina e Caribe aumentarão a presença de mais voluntários.*

1. Introdução

O Internet Engineering Task Force (IETF) é uma comunidade internacional composta por milhares de pessoas que trabalham, voluntariamente, no processo de padronização dos protocolos da Internet. A forma como o IETF funciona, criando padrões abertos através

do consenso, são fundamentais para que a Internet funcione de forma estável e eficiente. Assim, através da colaboração de diversos membros organizados em grupos de trabalhos (WG - *working groups*) temos, por exemplo, a padronização de protocolos como o TCP, IPv4 e IPv6 que são fundamentais para o funcionamento de Internet. Nesse contexto é importante a participação de membros brasileiros e da América Latina objetivando a troca de conhecimento entre países emergentes, além de participação na construção de uma rede cada vez melhor.

Este artigo tem como principal objetivo, analisar, sob a ótica da participação nas reuniões do IETF, a efetividade das ações realizadas nos países da América Latina e Caribe na direção de identificar o que estimula a participação nestes encontros e também delinear novas formas de fomentar a participação de novos membros. Para tanto, foram analisados dados relacionados à inscrição nos encontros do IETF deste a segundo encontro de 2008 (IETF 72) até o último de 2016 (IETF 97). Os resultados mostram que dentro da América Latina, o Brasil tem se destacado pelo crescente número de participações nas reuniões presenciais da IETF, sendo o país com maior número de participantes.

O restante deste artigo está organizado da seguinte forma: na seção 2 é apresentada uma descrição geral da ISOC, IETF, e outras organizações relacionadas ao tema do trabalho. Na seção 3 estão descritos como e de onde os dados aqui utilizados foram obtidos e onde estão disponíveis. Na seção 4 tem-se uma descrição sobre a área de atuação do RIR que cuida dos recursos e facilidades da Internet na América Latina e Caribe. Na seção 6 serão tratados os resultados em forma de gráficos e tabelas. Na seção 7 estarão as considerações finais que concluem o trabalho adicionando, também, sugestões e recomendações para uma participação mais efetiva tanto no IETF como no Internet Research Task Force (IRTF).

2. O Ecossistema da Infraestrutura da Internet

O ecossistema da Internet é formado por um conjunto de *stakeholders* que buscam continuamente contribuir com melhorias para o seu funcionamento. Nesse cenário, o modelo de funcionamento da Internet evoluiu de uma pequena rede de pesquisa do governo americano, a **ARPANET**, para uma rede com bilhões de usuários sendo o seu funcionamento indispensável para diversos setores da economia de vários países.

Para organizar esse ecossistema complexo foram criadas diversas entidades com responsabilidades bem definidas para que haja então uma coordenação das atividades necessárias para o bom funcionamento da rede. Nesse contexto, podemos destacar algumas entidades que possuem papel fundamental no ecossistema da Internet: *Internet Society* (ISOC), *Internet Engineering Task Force* (IETF), *Internet Corporation for Assigned Names and Numbers* (ICANN), *Internet Assigned Numbers Authority* (IANA), Sistemas Autônomos (ASs) e um conjunto de Registros Regionais da Internet (RIRs). A Figura 1 exhibe o relacionamento dessas entidades.

Endereços IPs (*Internet Protocol*) precisam ser gerenciados e atribuídos cuidadosamente para o bom funcionamento e estabilidade da Internet. O IANA é responsável por gerenciar sistemas de nomes de domínios (DNS) raízes, coordenar o número de sistema autônomos (ASs), delegar recursos para os RIRs, além de manter os nomes e números de protocolos desenvolvidos pela comunidade do IETF. Podemos ver o IANA como um conjunto de atividades relacionadas a nomeação e endereçamento na Internet, onde a

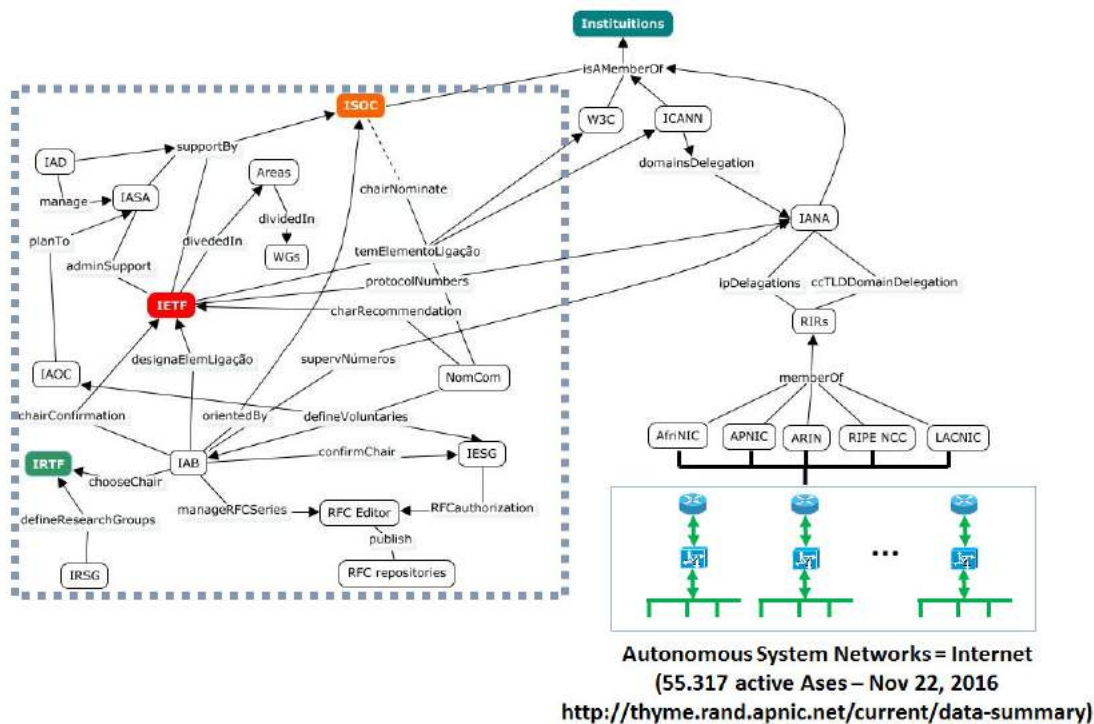


Figura 1. Mapa Conceitual do Ecosistema da Infraestrutura da Internet. Adaptado de [Braga and Omar 2014]

administração dessas tarefas e sua execução são realizadas pelo ICANN.

Numa escala regional, temos cinco RIRs: *African Network Information Center* (AFRINIC)¹, *Asia Pacific Network Information Centre* (APNIC)², *American Registry for Internet Numbers* (ARIN)³, *Latin American and Caribbean Internet Addresses Registry* (LACNIC)⁴ e o *Réseaux IP Européens Network Coordination Centre* (RIPE NCC)⁵. O papel básico de cada RIR é administrar e supervisionar números de espaço de endereço IP dentro de uma determinada região. Cada RIR tem sua própria política, mas devem obedecer políticas globais definidas pelo IANA.

Nesse cenário, entidades padronizadoras como o IETF/IRTF, *World Wide Web Consortium* (W3C), *International Telecommunications Union* (ITU-T) e *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE) têm o importante papel de discutir e definir a criação de diversos protocolos que ajudam a Internet a funcionar. Simonelis [Simonelis 2005] descreve em maiores detalhes o relacionamento dessas entidades.

2.1. Internet Society (ISOC)

A ISOC foi uma entidade sem fins lucrativos que surgiu em 1993 com a ideia de mover toda discussão não técnica para fora do IETF [Huizer 1996]. Em resumo, o seu objetivo

¹<https://www.afrinic.net/>

²<https://www.apnic.net/>

³<https://www.arin.net/>

⁴<http://www.lacnic.net/en/web/lacnic/inicio>

⁵<https://www.ripe.net/>

é promover o desenvolvimento de padrões na Internet, bem como promover iniciativas educacionais e políticas públicas ligadas à Internet⁶.

Como o IETF foi criado em 1986, quando a ISOC surgiu, os seus membros eram pessoas fortemente ligadas ao IETF com o papel de gerenciar diversas ações para melhoria da Internet. Após o surgimento da ISOC, o IETF deixou de ser financiado pelo governo americano e passou a ser uma entidade sem fins lucrativos. Dessa forma, com a desvinculação do governo americano e sob gerenciamento da ISOC, o IETF popularizou-se mundialmente sendo referência na definição e discussões de padrões para a Internet. A Figura 2 mostra resumidamente essa evolução histórica.

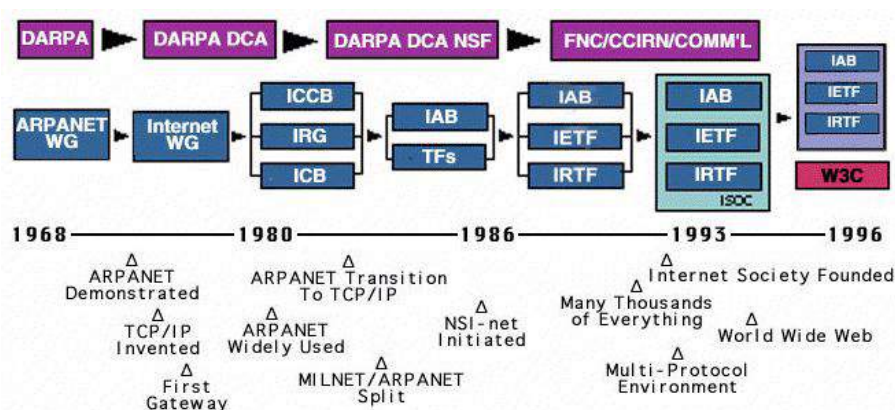


Figura 2. Linha do tempo e os principais movimentos que definiram o futuro da Internet. Fonte: [Leiner et al. 2009]

Segundo o próprio site da ISOC Brasil⁷, pode-se destacar as seguintes linhas de atuação da ISOC:

- Facilitar o desenvolvimento aberto de padrões, protocolos, gestão e infra-estrutura técnica da Internet;
- Suportar/apoiar a educação nos países em desenvolvimento especialmente e onde existir demanda;
- Promover desenvolvimento profissional e construir comunidades para ampliar a participação e a liderança em áreas importantes para o desenvolvimento da Internet;
- Prover informação confiável sobre a Internet;
- Prever fóruns de discussão em assuntos que afetam a evolução, desenvolvimento e os usos técnicos, comercial, empresarial etc da Internet;
- Fomentar a cooperação internacional e o intercâmbio entre comunidades e culturas, promovendo a autodeterminação;
- Centralizar/facilitar os esforços de cooperação em prol da Internet como uma ferramenta benéfica de todos;
- Prover gestão e coordenação para iniciativas estratégicas e esforços de disseminação humanitária, educacional da sociedade, dentre outros contextos;

⁶<https://www.isoc.org.br/post/escritorio-brasileiro/7>

⁷<https://www.isoc.org.br/post/escritorio-brasileiro/7>

2.2. IETF e IRTF

O IETF é uma grande comunidade internacional formada por voluntários interessados no desenvolvimento da Internet. Em resumo, a missão da IETF é tornar o funcionamento da Internet melhor [Alvestrand 2004] através do estabelecimento de padrões abertos por meio do consenso da comunidade que a compõe.

Atualmente, existem sete grandes áreas⁸ distintas (ex: segurança e roteamento) dentro do IETF onde são discutidos padrões que norteiam o funcionamento da Internet. Dentro de cada área existem grupos de trabalhos (*Working Groups* - WGs) que discutem e definem padrões para problemas específicos. As discussões ocorrem através de listas de e-mails e três encontros presenciais anuais. As reuniões presenciais tem como um de seus objetivos consolidar o que vem sendo discutido pelo voluntariado, nas listas de discussões por e-mail.

Dentro de cada WG há primeiro a criação de um proposta de padronização denominada I-D (*Internet Draft*) com um prazo de expiração para que ocorram as discussões para decidir se tal I-D irá virar realmente um padrão. Caso um I-D torne-se um padrão através do consenso da comunidade, então ele torna-se uma RFC (*Request for Comments*). Dessa forma, o processo de criação de uma RFC [Bradner 1996] é precedido por um Internet Draft (I-D) discutido amplamente dentro da comunidade da IETF. Alguns pontos devem ser levados em consideração nesta etapa :

- Priorização de implementação e código;
- Clareza, objetividade e facilidade de entendimento do documento;
- Maturidade técnica
- Atualidade do tema discutido.

A RFC 1543 ([Postel 1993]) define as regras e formatação para criação de uma RFC. Como exemplo, todo o texto deve ser escrito por meio de caracteres ASCII e cada página deve ser limitada a 58 linhas. É importante ressaltar que mesmo depois de definidas, RFCs sofrem constantes alterações com o passar do tempo, caso a comunidade ache conveniente atualizá-las.

De forma paralela ao IETF, existe o *Internet Research Task Force* (IRTF). O IRTF promove a discussão de pesquisas a longo prazo através de grupos de pesquisa (*Research Groups*), que funcionam de forma semelhante ao grupos de trabalho da IETF. A RFC 2014 [Weinrib and Postel 1996] define as diretrizes dos grupos de pesquisa do IRTF.

Podemos destacar alguns pontos que norteiam como o IETF e IRTF funcionam:

- Os padrões desenvolvidos não são impostos por empresas ou por questões políticas. Os padrões oriundos do IETF/IRTF são padrões utilizados voluntariamente.
- Cada área de trabalho possui duas pessoas responsáveis pela sua coordenação, aprovação e criação de WGs e BOFs (*Birds of a Feather*).
- O desenvolvimento de padrões ocorrem dentro de WGs por iniciativa dos participantes.
- Os I-D viram RFCs através do consenso entre a maioria dos participantes de um WG.

⁸<https://www.ietf.org/iesg/area.html>

- A língua oficial é o inglês.
- Tanto os I-D quanto as RFCs devem ser escritas no formato ASCII.
- Todo documento produzido é público e pode ser desenvolvido colaborativamente por qualquer pessoa.
- Existem várias categorias de RFCs e nem toda RFC é necessariamente um padrão.
- Dentro do IETF os argumentos técnicos, código rodando e meritocracia são os pilares para seu funcionamento.

Adicionalmente, o TAO da IETF [Hoffman and Harris 2006] fornece uma visão de como o ecossistema da Internet funciona juntamente com o documento criado pela ISOC⁹.

3. Metodologia

Como dito anteriormente, o IETF realiza três encontros presenciais anuais em diferentes países. Desde o segundo encontro de 2008, o IETF vem disponibilizando na web a relação dos inscritos em seus encontros. Um programa em PHP captura estas informações e agrupa em um banco de dados todas as informações disponíveis nas URLs <https://www.ietf.org/registration/ietf/attendance.py>, onde $72 \leq x \leq \text{encontro atual}$. Um outro programa exibe o conteúdo desta base¹⁰.

Os encontros anteriores ao 72 estão disponíveis em arquivos no formato PDF e remontam desde o primeiro encontro. Foi feita uma coleta manual destes dados, restrita ao número total de participantes e à participação brasileira. A Figura 3 exibe um gráfico comparativo entre a participação global e a participação brasileira que somente começou no encontro 36, o segundo encontro realizado no ano de 1996.

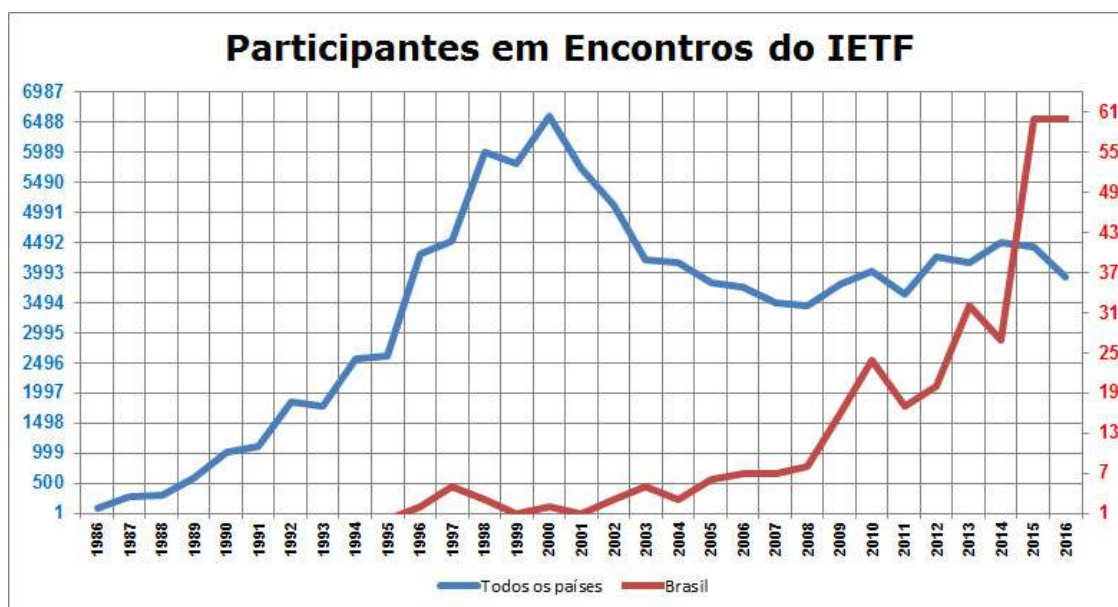


Figura 3. Participação brasileira desde o encontro 36 do IETF e a participação global, desde o primeiro encontro

⁹<http://www.internetsociety.org/who-makes-internet-work-internet-ecosystem>

¹⁰<http://ietf.protocolos.net.br/meetings/ietf.php>

Esta figura indica um crescimento efetivo da participação brasileira, com maior intensidade a partir de 2009. Por outro lado, há um contraste bastante significativo entre a participação do Brasil e os outros países da América Latina como mostra a Figura 4.

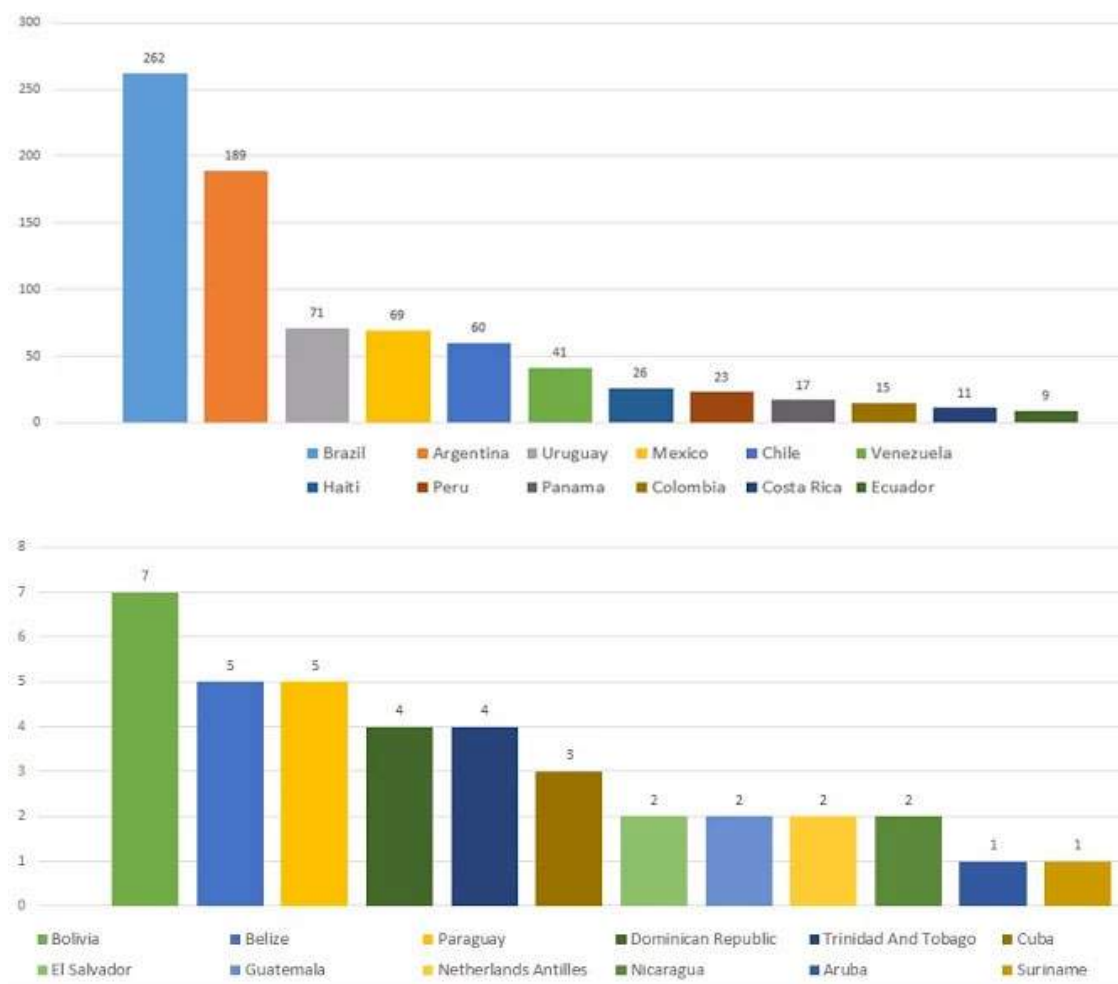


Figura 4. Número de participantes nos encontros do IETF, dos países da América Latina (encontros 72 a 97)

A quantidade de participantes não é exatamente uma surpresa se levar em conta a população do Brasil comparada com os outros países. O que chama a atenção é o crescimento com tendência exponencial, como fica evidente na Figura 5.

Tais argumentos e comparações, com base nos levantamentos preliminares indicaram a perspectiva de uma análise detalhada, o que recomendou o uso da metodologia aqui descrita.

Os dados, sob o ponto de vista dos resultados foram tratados, portanto, a partir da preocupação de entender as razões que contribuíram para este crescimento do Brasil, independente do que ocorreu nos outros países, alguns dos quais tiveram crescimento bem parecidos, como Argentina, Chile e México. As Figuras 6 e 7 exibem todos os países da América Latina e Caribe que participaram nas reuniões do IETF, no período considerado.

Chile e Argentina possuem mais afinidades no crescimento em relação ao Brasil,



Figura 5. Evolução da participação do Brasil desde 1996 até 2016

seguido pelo México.

Os dados dos países são identificados pelos respectivos **country code Top-Level Domain**¹¹ (ccTLD), isto é, o **domínio de topo**¹², que na Internet é usado ou reservado para um país ou um **território dependente**¹³. Alguns países na América Latina e Caribe, sobretudo no Caribe apresentam algumas distorções. É o caso de **Netherlands Antilles** – que aparece na Figura 4 –, cujo ccTLD é **.an**. Este território desapareceu em 2010. Ele representava algumas ilhas do Caribe¹⁴. Tais ilhas passaram a ter seus próprios ccTLDs mas com poucas ou quase nenhuma participação, devido a localização, geografia e características da população.

Os recursos da Internet para os países da América Latina e Caribe são gerenciados pelo LACNIC, um RIR acreditado pelo IANA. Em alguns casos, como o Brasil¹⁵ e México¹⁶, os recursos são geridos pelos **National Internet Registry** (NIR), mas sob orientação e cooperação do LACNIC.

¹¹<https://pt.wikipedia.org/wiki/CcTLD>

¹²https://pt.wikipedia.org/wiki/Dom%C3%ADnio_de_topo

¹³https://pt.wikipedia.org/wiki/Lista_de_territ%C3%B3rios_dependentes

¹⁴https://en.wikipedia.org/wiki/Dissolution_of_the_Netherlands_Antilles

¹⁵<http://www.nic.br/>

¹⁶<http://www.nicmexico.mx/>

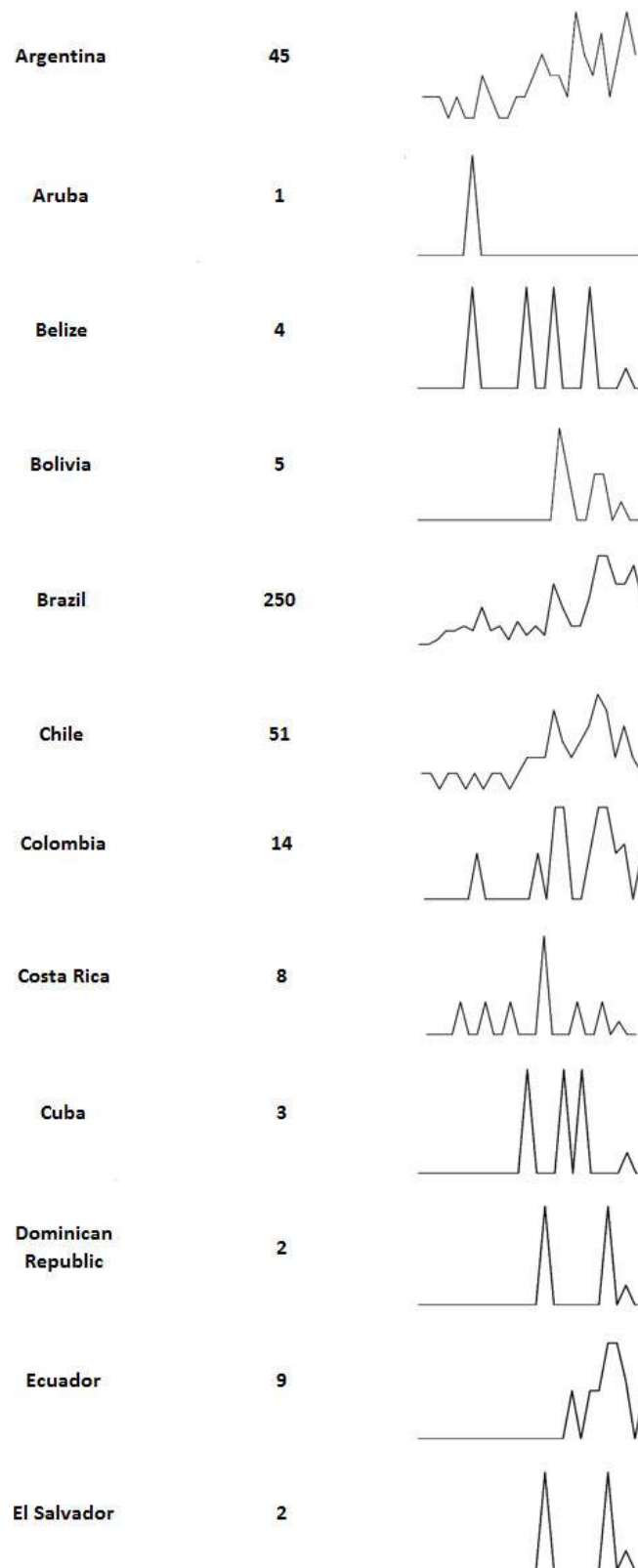


Figura 6. Países sob a supervisão do LACNIC, participação global e a curva de participação desde o IETF 72 - Parte I

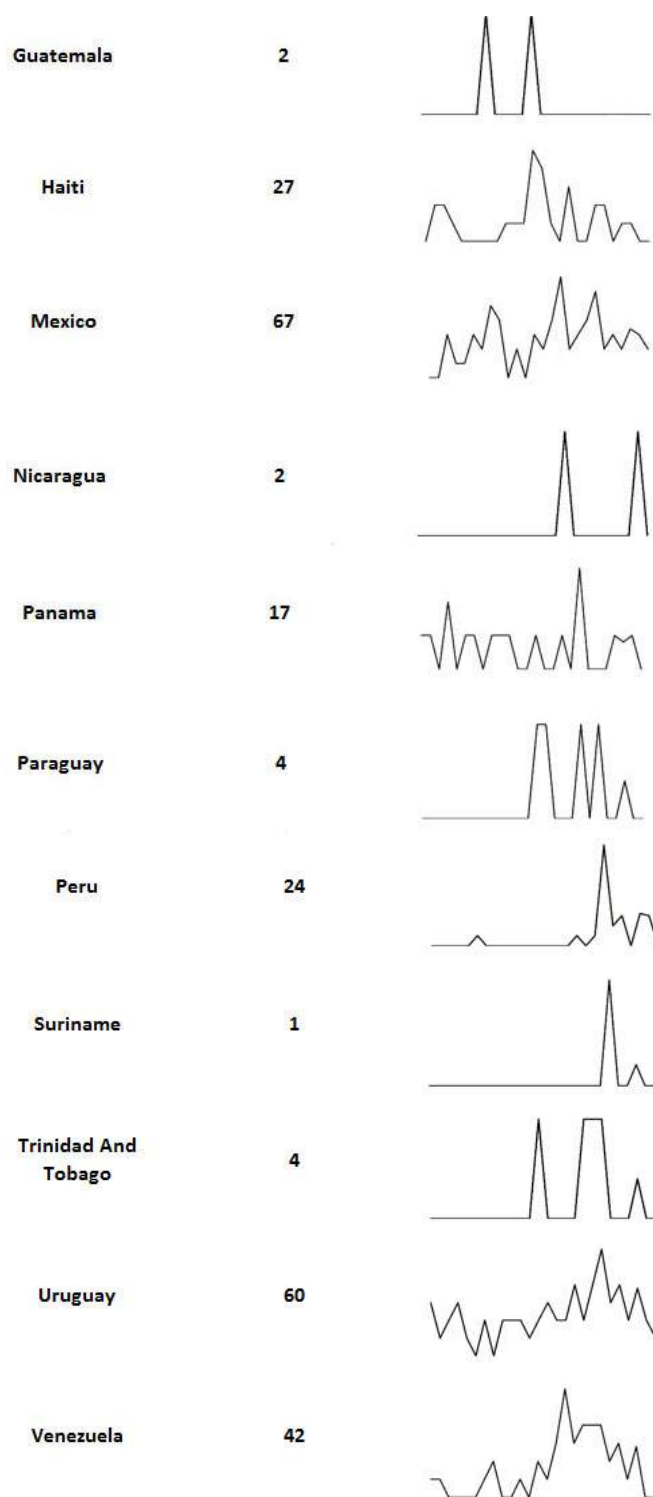


Figura 7. Países sob a supervisão do LACNIC, participação global e a curva de participação desde o IETF 72 - Parte II

A seguir, apresentamos e descrevemos os dados tratados considerando, especificamente, a América Latina e Caribe, com ênfase no Brasil.

4. A região do LACNIC

O LACNIC é responsável pela designação e administração dos recursos de numeração da Internet (IPv4, IPv6), Números Autônomos e Resolução Inversa, entre outros recursos para a região da América Latina e o Caribe. É um dos cinco Registros Regionais da Internet no mundo¹⁷.

Complementarmente às Figuras 4 e ?? , a Figura 8 exibe um trecho do mapa mundial com os territórios sob o controle do LACNIC em relação a seus recursos da Internet. Detalhes sobre os países da América Latina e Caribe nos encontros do IETF podem ser vistos na versão interativa do mapa¹⁸.



Figura 8. Mapa interativo da participação dos países sob o controle dos recursos de Internet, do LACNIC. Fonte e mapa interativo: <https://goo.gl/V4cOvi>

Cinco países nunca levaram participantes para reuniões do IETF: South Georgia and The South Sandwich Islands, Honduras, Guiana, Guiana Francesa e Falkland Islands (Malvinas). Honduras, coincidentemente está com duas participações no IETF 98. O IETF 98 não foi considerado neste trabalho, e as participações da região do LACNIC estão visíveis na Tabela 1.

5. Participação do Brasil

A Figura 5 exibe a participação do Brasil nos encontros do IETF (cada coluna representa a soma dos três encontros anuais), de 1996 até 2016. Como pode-se observar, a partir de 2009, o Brasil começou a aumentar a quantidade de participantes.

¹⁷<http://www.lacnic.net/pt/web/lacnic/acerca-lacnic>

¹⁸<https://goo.gl/V4cOvi>

Tabela 1. Participação da região do LACNIC no IETF 98. Fonte: <http://ietf.protocolos.net.br/meetings/latin98.php>

País	ccTLD	#	% Total	% RIR
Argentina	AR	4	0,31	10,81
Brasil	BR	12	0,31	10,81
Chile	CL	5	0,38	13,51
Colombia	CO	2	0,15	5,41
Guiana	GY	1	0,08	2,70
Honduras	HN	2	0,15	5,41
Haiti	HT	1	0,08	2,70
Mexico	MX	4	0,31	10,81
Panama	PA	1	0,08	2,70
Peru	1	0,08	2,70	
Uruguai	UY	3	0,23	8,11
Venezuela	VE	1	0,08	2,70
Total		37	2,85	100,00

Na subseção 5.1, serão discutidas algumas ações realizadas no Brasil que contribuíram para este resultado.

5.1. Ações no Brasil

Algumas ações tem sido desenvolvidas no Brasil com o objetivo de estimular a participação (mais efetiva) brasileira no processo de padronização de protocolos da Internet.

- Ação 1: A partir de 2010 foram elaborados diversos documentos e palestras em instituições e em eventos brasileiros com o objetivo de despertar o interesse pelo IETF. Ativas nestas iniciativas estavam a Universidade Federal de Alagoas, Universidade de Pernambuco e Universidade Presbiteriana Mackenzie.
- Ação 2: No início de 2013 (maio), foi criada a lista IETF-LAC¹⁹. O objetivo da lista é agregar e estimular iniciativas na América Latina e Caribe, relacionadas com o IETF e IRTF.
- Ação 3: Em 2013, *O Tao do IETF: Guia destinado aos novos participantes do Internet Engineering Task Force*²⁰ foi traduzido para as línguas espanhola e portuguesa.
- Ação 4: Em 2014 aconteceu o I Workshop pré-IETF²¹. Nos anos seguintes, associados ao Congresso da Sociedade Brasileira de Computação (SBC) foram realizadas as segunda (2015), terceira (2016) e a quarta (2017) edições. O principal objetivo deste evento é expandir a presença da América Latina e Caribe nos encontros do IETF, além de proporcionar um ambiente para que as habilidades de técnicos, estudantes e pesquisadores pudessem ser demonstradas, antecipando-se aos três encontros anuais do IETF. Como estímulo à participação, a partir da quarta edição (2017) três prêmios serão concedidos aos três mais relevantes trabalhos. O primeiro prêmio é uma participação no próximo encontro do IETF, o segundo prêmio

¹⁹<https://mail.lacnic.net/mailman/listinfo/ietf-lac>

²⁰<https://www.ietf.org/tao-translated-br.html>

²¹<http://www.cudi.edu.mx/eventos/i-workshop-pre-ietf>

é uma participação no próximo encontro do LACNIC e o terceiro prêmio é uma participação na Semana de Infraestrutura da Internet promovida pelo CGI.br.

- Ação 5: Em 2014 foi criado um grupo no Facebook²², como apoio complementar à lista IETF-LAC.
- Ação 6: Em 2014, sob o patrocínio do Comitê Gestor da Internet Brasileira (CGI.br), foram produzidos 30.000 exemplares de um livro contendo **O Tao do IETF** em espanhol, inglês e português [Braga et al. 2014]. Esta ação proporcionou a distribuição do livro e consequentemente contribuiu para a difusão do IETF na América Latina, Caribe e em alguns países e eventos da África (Cabo Verde, Guiné Equatorial, Moçambique e São Tomé e Príncipe). Adicionalmente está disponível uma versão em PDF²³.
- Ação 7: Em 2014, o **CGI.br** lançou uma chamada pública para participação em grupos de trabalhos e reuniões do IETF/IRTF, com o objetivo de ampliar ainda mais a participação brasileira²⁴. O edital contemplou três projetos, totalizando oito pesquisadores brasileiros, além de um contemplado na modalidade de profissionais vinculados à indústria de redes nacional²⁵. Na seção 6 há uma descrição detalhada deste projeto.
- Ação 8: Em 2016 surgiu uma iniciativa embrionária denominada **Internet Academy**, que tem como objetivo revisar o processo de ensino de redes, especialmente das tecnologias de Internet, e propor melhores estratégias e metodologias neste contexto. A Internet Academy está fortemente relacionada com o IETF, uma vez que também está preocupada com a formação de profissionais voluntários que sejam capazes de auxiliar de forma sistemática nas atividades do IETF.

Paralelamente à essas ações brasileiras, ressalta-se uma ação internacional promovida pela ISOC, denominada ISOC *Internet Leadership*, que financia a participação de estudantes, docentes e profissionais de países em desenvolvimento nos encontros do IETF. O programa existe desde 2007 e fornece inscrição para o evento, passagem, hospedagem e ajuda de custo para os bolsistas selecionados. Nos últimos seis encontros, o Brasil esteve representado através de quinze bolsas, até o IETF97, como pode ser visto na Tabela 2.

Tabela 2. Bolsistas brasileiros no IETF. Fonte: Internet Society

Encontro	Bolsistas
93	3
94	4
95	4
96	2
97	2

6. Participação brasileira no desenvolvimento de documentos

Apesar da importância do Brasil no contexto de redes de computadores, a participação de brasileiros no desenvolvimento de documentos para o IETF ainda é significativamente

²²<https://www.facebook.com/groups/1612210999058155/>

²³<http://cgi.br/media/docs/publicacoes/1/o-livro-do-ietf.pdf>

²⁴<http://cgi.br/editais/ver/2.pdf>

²⁵<http://www.cgi.br/noticia/notas/cgi-br-divulga-resultado-da-selecao-publica-para-o-ietf-e-irtf/>

pequena. Considerando o melhor conhecimento dos autores, podem ser citadas as seguintes participações em documentos para o IETF/IRTF: Antônio Moreiras (Núcleo de Informação e Coordenação do Ponto BR - NIC.BR), Edwin Cordeiro (Technical University of Munich), Frederico Neves (NIC.BR), Julião Braga (Universidade Presbiteriana Mackenzie e University of Saskatchewan).

Dificuldades financeiras podem ser citadas para esta escassez de participações, já que as oportunidades de financiamento são menores do que aquelas oferecidas em outros países. Neste contexto, a Chamada Pública 0001/2014, financiada pelo CGI.br, proporciona um auxílio significativo para o desenvolvimento de atividades conjuntas entre o IETF/IRTF e membros de instituições de pesquisa e fabricantes de equipamentos baseados no Brasil.

Esta iniciativa selecionou 4 participações nas reuniões do IETF: o projeto “Utilização de Tecnologia Par-a-Par para Controle Autônomo Distribuídos de Sondas de Monitoramento em Redes de Computadores”, dos autores Jéferson Nobre e Lissandro Granville, representando a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS); o projeto “Metrologia e ciência de redes aplicadas à Internet”, dos autores Klaus Wehmuth e Artur Ziviani, representando o Laboratório Nacional de Computação Científica (LNCC/MCTI); e o projeto “Redes Definidas por Software considerando cenários com Virtualização de Funções da Rede”, dos autores Marcelo Santos, Felipe Lopes, Leonidas Lima e Stênio Fernandes, representando a Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Além destes, também foi selecionado o apoio à participação de Denis Michellis, na modalidade de profissionais vinculados à indústria de redes nacional, funcionário da instituição Telefônica Brasil SA.

A participação dos pesquisadores dos projetos contemplados no IETF através desta chamada foi benéfica para os próprios pesquisadores assim como para a inserção brasileira no IETF. A experiência ganha em tal participação tem sido compartilhada nas instituições dos pesquisadores, o que pode auxiliar no desenvolvimento e padronização de protocolos para a Internet.

7. Considerações finais

Há diversas outras fontes de recursos para participações, além daquelas descritas acima. O IV Workshop pré IETF, com apoio do capítulo brasileiro da ISOC Brasil está implementando pela primeira vez uma premiação que envolve a participação de autores de trabalhos premiados, no próximo encontro do IETF, após a realização do Workshop. Além disso, o Applied Networking Research Workshop (ANWR)²⁶, uma iniciativa do IRTF, é outro exemplo de fonte de recursos que fomentam a dupla participação: no próprio ANWR e no IETF que se realiza na sequência. No primeiro encontro do ANWR houve, pelo menos, três participações brasileiras, sendo duas delas estudantes com bolsa do ANWR.

Tais oportunidades devem ser divulgadas sem restrições com o objetivo de incentivar estudantes, professores e profissionais que trabalham na área. Adicionalmente, iniciativas como as da ISOC Brasil, CGI.br devem ser estimuladas e ampliadas para a região do LACNIC. A experiência provocada por iniciativa do CGI.br, descrita na seção (6) deve ser estimulada a se repetir, pois ela permitiu a ocupação de espaços importan-

²⁶<https://irtf.org/anrw/>

tes, de liderança, nas atividades que gravitam em torno do IETF, IRTF, ISOC e outras instituições associadas²⁷.

Parece ter chegado o momento de provocar a efetiva participação de voluntários brasileiros no desenvolvimento de documentos para o IETF e/ou IRTF. Neste sentido, a Internet Academy²⁸ (IA) reproduz propostas interessantes. Além de ações de atualização da aprendizagem de redes de longa distância projeta-se um treinamento focado no voluntariado efetivo, em particular, do IETF. Adicionalmente, a IA está propondo diversas edições de "hackathon" durante eventos importantes no Brasil e no restante da região do LACNIC.

Referências

- Alvestrand, H. (2004). A Mission Statement for the IETF. BCP 95, RFC Editor.
- Bradner, S. O. (1996). The Internet Standards Process – Revision 3. BCP 9, RFC Editor. <http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc2026.txt>.
- Braga, J., Granville, L. Z., O’Flaherty, C., and Moreiras, A. M. (2014). *O Livro do IETF*. CGI.br, São Paulo, 1 edition.
- Braga, J. and Omar, N. (2014). Semantic Repository in Internet Infrastructure Knowledge Domain: Methodology. In *Anais do CSBC 2014*, pages 2179–2184, Brasília, DF.
- Hoffman, P. and Harris, S. (2006). The Tao of IETF - A Novice’s Guide to the Internet Engineering Task Force. RFC 4677, RFC Editor.
- Huizer, E. (1996). Ietf-isoc relationship. RFC 2031, RFC Editor.
- Leiner, B. M., Cerf, V. G., Clark, D. D., Kahn, R. E., Kleinrock, L., Lynch, D. C., Postel, J., Roberts, L. G., and Wolff, S. (2009). A brief history of the Internet. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 39(5):22–31.
- Postel, J. (1993). Instructions to RFC Authors. RFC 1543, RFC Editor.
- Simonelis, A. (2005). A concise guide to the major internet bodies. *Ubiquity*, 2005(February):2–2.
- Weinrib, A. and Postel, J. (1996). IRTF Research Group Guidelines and Procedures. BCP 8, RFC Editor. <http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc2014.txt>.

²⁷<https://sites.google.com/site/internetresearchlabs/>

²⁸<http://www.internetacademy.org.br>

Comparação entre as Extensões *Bundle Security Protocol*, *Streamlined Bundle Security Protocol* e *Bundle Protocol Security Specification* para o *Bundle Protocol*

Lucas W. P. Pinto¹, Jéferson C. Nobre¹

¹Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS)
Caixa Postal 275 – 93.022-000 – São Leopoldo – RS – Brasil

were.sl@gmail.com, jcnobre@unisinis.br

Abstract. *This document has as an objective to present a comparative study between the developed extensions to the Bundle Protocol known as Bundle Bundle Security Protocol, Streamlined Bundle Security Protocol and Security Bundle Protocol Specification. Then it presents the reasons that led to the development of such extensions, which were not considered relevant in the beginning of the development of the Bundle Protocol. Finally, it explains the different characteristics of each extension and compares them with each other.*

Resumo. *Este documento tem como objetivo apresentar um estudo comparativo entre as extensões desenvolvidas para o Bundle Protocol conhecidas como Bundle Security Protocol, Streamlined Bundle Security Protocol e Bundle Protocol Security Specification. Apresenta ao decorrer do trabalho os motivos que levaram ao desenvolvimento de tais extensões, que não foram consideradas relevantes no princípio do desenvolvimento do Bundle Protocol. Por fim, explica as diferentes características de cada extensão e as compara entre si.*

1. Introdução

Ambientes desafiadores (*Challenged Networks*) apresentam dificuldades para o funcionamento de redes tradicionais, como a Internet. As condições encontradas nestes ambientes ocasionam alguns problemas em redes de computadores, como por exemplo longos períodos de desconexões que dificultam a comunicação fim-a-fim. São exemplos de ambientes desafiadores a Internet Interplanetária (*InterPlanetary Networking - IPN*), Redes em Campos de Batalha (*Battlefield Networking*), comunicações rurais e comunicações submarinas. Essas redes são agrupadas pelo conceito de Redes Tolerantes à Atrasos/Desconexões (*Delay/Disruption Tolerant Networking - DTN*) [Cerf et al. 2007].

O conceito de DTN tomou forma através dos estudos do Grupo de Pesquisa de DTN (*DTN Research Group - DTNRG*) da IRTF (*Internet Research Task Force*) [DTNRG 2016]. Esta equipe desenvolveu um framework para DTN com o objetivo de auxiliar na resolução dos problemas encontrados nos ambientes desafiadores, e de tornar viável a utilização efetiva de redes nestes ambientes. Considerando que seu objetivo principal fora concluído, a equipe transferiu a responsabilidade de novas implementações para o grupo de trabalho de DTN (*DTN Working Group - DTN WG*) da IETF (*Internet Engineering Task Force*) [DTN WG 2016].

O DTNRG percebendo a necessidade de um mecanismo padrão para auxiliar na comunicação entre nodos em DTNs, desenvolveu o protocolo Bundle (*Bundle Protocol -*

BP)[Scott and Burleigh 2007]. O BP viabiliza a transmissão de mensagens entre nodos, através de uma lógica de armazenamento e envio de pacotes. Isto permite que o nodo armazene localmente todos os pacotes que recebe, para enviá-los quando houver uma conexão disponível com outro nodo. Embora funcional, o BP deixa fora de seu escopo a garantia de segurança e verificação de erros nestas comunicações. Isto se deve ao fato de existirem uma série de barreiras que dificultam a implementação de segurança em DTNs [Ivancic 2010].

Inicialmente o BP não tratava os problemas específicos de segurança existentes em uma DTN, porém com o passar do tempo o grupo de trabalho percebeu que era necessário alguma forma de implementação de segurança no BP. A partir daí o grupo vem desenvolvendo uma série de extensões para o BP que focam exclusivamente em segurança, são elas *Bundle Security Protocol (BSP)*, *Streamlined Bundle Security Protocol (SBSP)* e *Bundle Protocol Security Specification (BPsec)*.

2. Fundamentação Teórica

O Protocolo Bundle (*Bundle Protocol - BP*) foi desenvolvido pelo DTNRG, e seu objetivo é tratar de alguns problemas encontrados em DTNs e abstrair a responsabilidade de aplicações que rodam nestas redes de resolve-los. A sua arquitetura foi desenvolvida para atender as necessidades de uma grande variedade de classes de redes divergentes, incluindo IPN, redes submarinas, redes de campos de batalha, entre outros. [Wood et al. 2009].

A especificação descrita na RFC 5050, define que o BP trabalha na camada de agregação, e se utiliza de interfaces com as camadas inferiores chamadas de Adaptadores da Camada de Convergência (*Convergence Layers Adapters - CLAs*) para realizar o transporte de informações. Não é necessário instalar o BP em todos o nodos de uma rede, apenas nos *endpoints* e em alguns nodos intermediários selecionados, geralmente localizados nas bordas das partes homogêneas de uma rede heterogênea. A Figura 1 apresenta a estrutura encontrada em uma rede DTN.

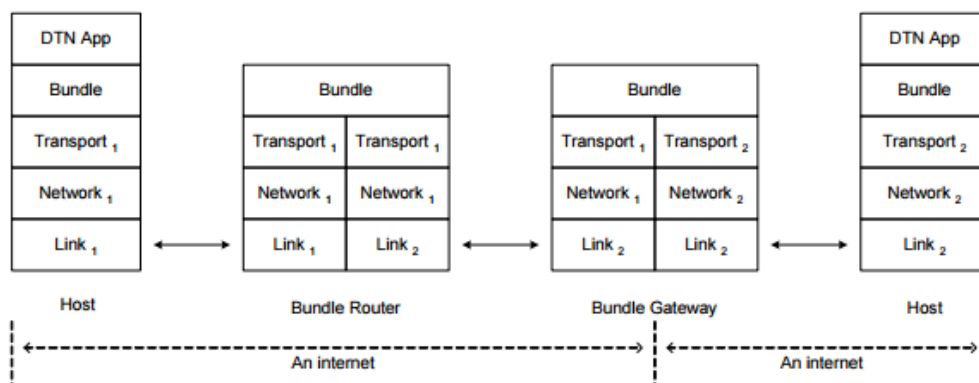


Figura 1. Arquitetura de uma DTN

A instalação do BP nos *endpoints* e em alguns nodos intermediários faz com que o caminho original fim-a-fim seja dividido em múltiplos pulos de DTN. As semânticas de transporte fim-a-fim são redefinidas, sendo agora confinadas dentro de cada pulo DTN.

Isto torna possível que seja usado em cada pulo o melhor protocolo de transporte para aquela situação. Esta possibilidade de juntar protocolos de acordo suas características é a primeira grande vantagem oferecida pela arquitetura do BP. Em particular, isto permite o uso de variantes especializados do TCP, como o Hybla [Caini and Firrincieli 2004], em links de GEO satélites, ou protocolos especializados como o Saratoga [Wood et al. 2007] e o LTP (*Licklider Transmission Protocol*) [Ramadas et al. 2008], em satélites LEO (*Low Earth Orbit*) e pulos no espaço livre [Rodrigues 2014].

A fragmentação do bundle é uma das características mais distinguíveis de DTN. Pode ser proativa para ajustar a dimensão de um bundle com a limitação de dados que podem ser transferíveis em um contato, ou reativa, para evitar retransmissão de informação já recebida em caso de desconexão de um link. Com relação a fragmentação reativa, é preciso notar que a possibilidade de reiniciar um download de um ponto intermediário é muito comum em muitas aplicações de transferências de arquivos. Essa característica agora é oferecida a camadas superiores, por exemplo para aplicações DTN, como um serviço do BP. Em contraste com aplicações TCP, as aplicações DTN não precisam incluir qualquer código para implementar esta função.

3. Problemas de Segurança do *Bundle Protocol*

Embora muito do BP já tenha sido discutido e oficializado em RFCs, ainda existem muitos problemas a serem resolvidos em sua arquitetura. Todas as especificações de segurança citadas nas sessões anteriores, ainda estão para terem uma implementação prática e não fazem parte da definição do BP.

O BP sem estas extensões não realiza verificações para detectar bundles danificados, pois não possui suporte para detecção de erros e rejeição de bundles corrompidos (tanto em blocos de metadados quanto em blocos de carga de informações). Fazendo com que o BP não consiga determinar se o pacote entregue ao destino está livre de erros ou não.

Sem uma forma confiável de detecção de erros, a técnica de transferência do BP não pode garantir que um nodo que se tornará o novo portador do bundle e terá a responsabilidade de entregar este ao próximo nodo, realmente recebeu um bundle não corrompido para conseguir repassar. Além disso, a corrupção de metadados em um bundle podem causar diversos problemas graves, como a impossibilidade de se descriptografar blocos previamente criptografados até a não entrega desde bundle para outro nodo.

Esta importante funcionalidade do bundle foi deixada propositalmente de fora de sua arquitetura com a justificativa de que nem todas as aplicações necessitam de detecção de erros ou integridade de dados, e que se desejarem devem implementá-los por conta própria. Porém esta afirmação falha em perceber que a possível corrupção de metadados do próprio bundle não é verificada pela camada de aplicação, e que o protocolo em si deveria ser capaz de determinar estes problemas no seus cabeçalhos.

Deixar recuperação de erros para as aplicações é apenas possível quando elas tem muito controle sobre a rede em que estão rodando, possuindo a capacidade de reenvio de mensagens com erros. Redes DTN não possuem controle sobre as condições dos ambientes desafiadores e por isso podem não ter estrutura para reenvio de mensagens, neste caso impossibilitando uma aplicação de fazer este tipo de controle.

4. Extensões de Segurança para o *Bundle Protocol*

Segurança é importante para o protocolo Bundle. Muitas vezes os ambientes desafiadores sobre os quais o protocolo Bundle opera, são hostis e requerem que a DTN seja protegida de acesso não autorizado. Porém estes ambientes possuem algumas barreiras que impõem desafios para a implementação de mecanismos de segurança no protocolo Bundle, como por exemplo, a impossibilidade de gerenciar chaves em uma DTN. Além disso, as DTNs podem estar funcionando sobre ambientes onde uma porção da rede seja comprometida, e acabe conflitando com os pilares de segurança de confidencialidade, integridade e disponibilidade [Birrane 2014].

As extensões de segurança seguem as seguintes diretivas de funcionamento:

4.1. Granularidade do Bloco

Blocos em um bundle representam diferentes tipos de informação. O bloco primário contém identificação e informação de roteamento. O bloco de payload carrega dados da aplicação. O Bloco de extensão carrega uma variedade de dados que podem prover informações adicionais necessárias para o processamento de um bundle ao longo do caminho. É importante aplicar diferentes tipos de segurança em um bundle, pois este possui blocos que podem representar diferentes tipos de informação com diferentes necessidades de segurança.

Por exemplo, em um bundle um bloco de payload pode ser criptografado para proteger seu conteúdo, mas um bloco de extensão contendo informações relacionadas com esse payload deve ficar descriptografado, pois precisa disponibilizar essas informações para um nodo, sem que esse possa descriptografar o payload também.

4.2. Múltiplas Origens de Segurança

O BP permite que blocos de extensão sejam adicionados em um bundle a qualquer momento durante a sua existência em uma DTN. Quando um nodo adiciona um novo bloco de extensão no bundle, este novo bloco pode ter extensões de segurança aplicadas à ele. Similarmente, um nodo pode adicionar serviços de segurança em um bloco de extensão já existente, desde que seja consistente com sua política de segurança. Por exemplo, um nodo que se encontra na borda de uma parte confiável da rede com uma não confiável, pode aplicar criptografia ao bloco de payload em todos os bundles saindo da parte confiável em direção a não confiável.

Nos dois casos, um nodo que não o originário do bundle pode adicionar um serviço de segurança neste bundle, e com isso, se tornar a origem daquele serviço de segurança fazendo com que a origem de segurança seja diferente da origem do bundle. Serviços de segurança devem sempre saber quem é o seu nodo de origem, para conseguir aplicar propriamente políticas e seleção de chaves associadas com o processamento de segurança no nodo de destino.

Por exemplo, um nodo N1 envia um bundle como N3 sendo o destino final. No meio do caminho o nodo N2 adiciona um serviço de segurança no bundle, neste momento o nodo N1 ainda é considerado a origem do bundle, porém N2 agora é considerado a origem do serviço de segurança. Quando o bundle atingir seu destino no nodo N3, este irá saber quais métodos irá utilizar para processar o serviço de segurança, pois sabe quem o aplicou.

Um bundle pode ter múltiplos blocos de segurança e esses blocos podem ter diferentes nodos de origem. Cada bloco de segurança em um bundle deve ser associado com uma operação de segurança específica. Todos os blocos de segurança que realizam a mesma operação devem ter o mesmo nodo de origem.

Por fim, todos os nodos devem enviar os blocos na mesma ordem em que os receberam. Este requisito se aplica em toda a DTN, não apenas nos nodos que adicionam blocos de segurança ou os processam.

Diferentes nodos em uma DTN podem ter diferentes capacidades de segurança. Alguns nodos podem não ser cientes de segurança e não irão entender qualquer bloco de extensão relacionado a segurança. Outros nodos podem ter políticas de segurança que irão requerer que os serviços de segurança sejam processados em nodos que não o de destino do bundle (por exemplo, verificar assinaturas de integridade em nodos que se encontram antes do destino). Alguns nodos podem ignorar o processamento de segurança se eles não forem o destino no bundle.

4.3. Considerações de Segurança

Gestão de chaves em DTNs é reconhecido como um tópico difícil e não é resolvido nas extensões de segurança.

Algumas aplicações de DTN precisam assinar e criptografar uma mensagem, e existem alguns problemas à levar em consideração sobre isso. Se a intenção é de a prover uma segurança de que a mensagem, de fato, não foi modificada desde a sua origem, então deve ser primeiramente assinada e só então criptografada. Uma assinatura em uma mensagem criptografada não estabelece nenhuma relação entre o assinante e a mensagem que foi cifrada.

Por outro lado, se a intenção é reduzir o risco de ataque de negação de serviço (*Denial-Of-Service Attacks* - DOS Attacks), então a assinatura da mensagem criptografada é apropriado. Uma mensagem que falha em uma verificação de assinatura não passará pelo intenso processo computacional para ser descriptografada.

Se um nodo for gerar algum relatório em um evento de falha de segurança, então alguma informação com relação a estrutura interna ou políticas de segurança da DTN podem vazarem. É recomendado que seja utilizado muito cuidado ao se utilizar este recurso.

4.4. Bundle Security Protocol - BSP

A existência de problemas de segurança não tratados em DTN, levou a criação da extensão de segurança para o BP conhecida como (*Bundle Security Protocol* - BSP)[Symington et al. 2011].

O BSP é aplicado por definição apenas aos nodos que aceitam sua implementação, estes nodos são conhecidos como Nodos Cientes de Segurança (*Security-Aware Nodes*). Podem existir nodos em uma DTN que não implementam o BSP, e estes podem se comunicar sem nenhuma restrição com os nodos que são cientes de segurança. Porém as operações de segurança apenas poderão serem executadas em nodos que implementaram o BSP.

Uma das características mais interessantes do BSP é que ele leva em consideração a segurança fim-a-fim e pulo-a-pulo, com soluções diferentes. É oferecida a possibilidade

de proteger os dados que estão sendo transportados no bundle e outros tipos de dados (e.g. metadados), com diferentes chaves. Ambas destas características são inovadoras e permitem proteger eficientemente o tráfego do bundle.

O BSP pode adicionar os seguintes blocos de segurança em um Bundle:

- Bloco de Autenticação do Bundle (*Bundle Authentication Block* - BAB): É utilizado para garantir a autenticidade e integridade do pacote de um único pulo entre dois nodos. Por isso, BABs operam apenas entre dois nodos adjacentes.
- Bloco de Integridade de Carga (*Payload Integrity Block* - PIB): Empregado para prover autenticação e integridade sobre múltiplos pulos (normalmente, mas não necessariamente, fim-a-fim). Mesmo que essencialmente o PIB seja considerado fim-a-fim, ele pode ser verificado em qualquer nodo que se encontre entre a o nodo que concatenou o PIB ao pacote, e o destino final do bundle. Porém será necessário que este nodo tenha acesso as chaves criptográficas de autenticação.
- Bloco de Confidencialidade de Carga (*Payload Confidentiality Block* - PCB): Utilizado para prover confidencialidade dos dados sendo carregados pelo bundle entre a origem e o destino, analogamente ao PIB.
- Bloco de Extensão de Segurança (*Extension Security Block* - ESB): Desenvolvido para prover segurança para bloco que não o de carga de dados, como por exemplo metadados. A ideia é de que as chaves do ESB, sendo diferentes de outros blocos de segurança, podem ser disponibilizadas para nodos intermediários selecionados, como roteadores DTN, sem comprometer a segurança fim-a-fim.

É importante citar que alguns aspectos definidos em [Symington et al. 2011] foram recentemente descobertos como dificilmente compatíveis com a fragmentação do BP. É muito provável que as características do BSP sejam revisadas e simplificadas em um futuro próximo para remediar este problema [Rodrigues 2014].

4.5. Streamlined Bundle Security Protocol - SBSP

O conceito de *Streamlined Bundle Security Protocol* - SBSP veio de uma necessidade de simplificação do BSP. Diferente do BSP, o SBSP define apenas três blocos adicionais que podem ser concatenados a um pacote bundle para garantirem a segurança de uma mensagem [Birrane 2014].

O SBSP pode adicionar os seguintes blocos de segurança em um Bundle:

- Bloco de Autenticação do Bundle (*Bundle Authentication Block* - BAB): Garante autenticação e integridade de pacotes pulo-a-pulo.
- Bloco de Integridade de Carga (*Payload Integrity Block* - PIB): é usado para garantir a autenticidade e integridade da parte do pacote que o remetente do PIB deseja assegurar. A autenticação da informação no PIB pode ser verificada por qualquer nodo que se encontro no caminho do remetente do PIB e o destinatário do pacote.
- Bloco de Confidencialidade de Carga (*Payload Confidentiality Block* - PCB): indica que que uma parte do pacote foi criptografada, toda ou apenas uma parte dela, no nodo originário do PCB para garantir a proteção de seu conteúdo até o nodo de destino.

4.6. Bundle Protocol Security Specification - BPsec

A constante necessidade de melhoria da segurança, levou por fim ao desenvolvimento da mais recente proposta de extensão para o BP, chamada de BPsec. Esta extensão foi baseada nas estruturas do BSP e do SBSP, tendo como objetivo primário simplificar o uso de segurança no BP, assim como aumentar sua segurança.

O BPsec pode adicionar os seguintes blocos de segurança em um Bundle:

- Bloco de Integridade de Bloco (*Block Integrity Block - BIB*): é usado para garantir a autenticidade e integridade da parte do pacote que o remetente do BIB deseja assegurar. Funciona como uma assinatura do bundle.
- Bloco de Confidencialidade de Bloco (*Block Confidentiality Block - BCB*): indica que uma parte do pacote foi criptografada. Bundles que possuem este bloco foram criptografados.

5. Discussão

As três extensões para o BP citadas neste trabalho, apesar de serem consideradas diferentes, são na verdade uma evolução de um mesmo conceito. O BSP sendo a primeira extensão a ser desenvolvida, apresentou um grande problema em relação a complexidade de implementação. O SBSP partiu da ideia do BSP e foi uma tentativa de simplificação deste. Por fim a mais recente extensão chamada de BPsec, seria a versão definitiva de segurança para o BP.

A maior diferença notável entre as extensões é a simplificação de seus blocos de segurança, que com o tempo foram diminuindo de quantidade para facilitar sua implementação. Com isso o ganho de performance do BPsec também é maior, pois com menos blocos de segurança, mais rápido serão os processamentos de segurança em cada nodo.

É importante citar que não existe uma comparação de performance testada entre as extensões, mas com a diminuição de processamentos de segurança em cada nodo, se espera que exista uma diferença.

Tabela 1. Comparação das Características entre as Extensões

	BSP	SBSP	BPsec
Complexidade	Elevada: 4 blocos	Média: 3 Blocos	Simple: 2 Blocos
Performance	Lenta	Média	Teoricamente mais rápida

Com relação a diferença de segurança, se tem a noção de que as extensões BSP e SBSP possuem um nível mais elevado de segurança, pois fornecem mais blocos com funções diferentes. Porém o BPsec foi desenvolvido com uma noção de que muitos blocos proviam um nível de segurança desnecessário para DTNs.

6. Conclusão e Trabalhos Futuros

Este trabalho teve o objetivo de mostrar um comparativo entre as extensões desenvolvidas até o momento para o protocolo BP. Mesmo que exista um maior ganho de segurança

com as versões antigas, as limitações de hardware encontradas em DTNs exigem que seus nodos não possam gastar tantos recursos com processamento. A escolha de qual melhor extensão para ser implementada irá sempre depender do ambiente em que a DTN se encontra.

Para futuras pesquisas seria interessante um experimento prático com os três protocolos, para verificar a veracidade de dificuldades de implementações nas versões antigas, ou do ganho de performance em BPsec.

Referências

- Birrane, E. (2014). Streamlined bundle security protocol specification. Technical report, Delay-Tolerant Networking Research Group.
- Caini, C. and Firrincieli, R. (2004). Tcp hybla: a tcp enhancement for heterogeneous networks. *International journal of satellite communications and networking*, 22(5):547–566.
- Cerf, V., Burleigh, S., Hooke, A., Torgerson, L., Durst, R., Scott, K., Fall, K., and Weiss, H. (2007). Rfc 4838. *Delay-Tolerant Networking Architecture, IRTF DTN Research Group, April*.
- DTNRG (2016). Delay-tolerant networking research group. <https://irtf.org/concluded/dtnrg/>. Acesso em: ago. 2016.
- DTN WG (2016). Delay-tolerant networking working group. <https://datatracker.ietf.org/wg/dtn/charter/>. Acesso em: set. 2016.
- Ivancic, W. D. (2010). Security analysis of dtn architecture and bundle protocol specification for space-based networks. In *Aerospace Conference, 2010 IEEE*, pages 1–12. IEEE.
- Ramadas, M., Burleigh, S., et al. (2008). Licklider transmission protocol-specification.
- Rodrigues, J. (2014). Advances in delay-tolerant networks (dtns): Architecture and enhanced performance.
- Scott, K. and Burleigh, S. (2007). Bundle protocol (bp). ietf request for comments. Technical report, RFC 5050.
- Symington, S., Farrell, S., Weiss, H., and Lovell, P. (2011). Bundle security protocol specification. Technical report.
- Wood, L., Eddy, W. M., and Holliday, P. (2009). A bundle of problems. In *Aerospace conference, 2009 IEEE*, pages 1–17. IEEE.
- Wood, L., Eddy, W. M., Ivancic, W., McKim, J., and Jackson, C. (2007). Saratoga: a delay-tolerant networking convergence layer with efficient link utilization. In *Satellite and Space Communications, 2007. IWSSC'07. International Workshop on*, pages 168–172. IEEE.

5º WTranS - Workshop de Transparência em Sistemas

Apresentação

O Workshop de Transparência em Sistemas é um fórum que visa agregar pesquisadores de diferentes áreas com interesse no tema de transparência dentro de um contexto computacional. Este tema está ligado à movimentos que registram uma forte tendência na necessidade de considerar explicitamente a informação aberta em dados, processos e software que são de interesse de uma organização e da sociedade.

No campo público, a Lei de Acesso à Informação brasileira é um reflexo desse movimento e traz uma série de desafios para a evolução de sistemas que precisam lidar com informação aberta. Porém, não só as organizações públicas estão neste movimento mas também organizações privadas preocupadas em fornecer mais informações internamente e externamente a seus clientes e acionistas. Esses desafios estão presentes em diversas áreas de conhecimento, com forte impacto na Ciência da Computação que se vê atualmente de frente com essa nova demanda.

Abertura de dados, usabilidade orientada à sociedade, qualidade e garantia de entendimento da informação, proveniência e confiança na informação são algumas das novas necessidades que a maioria das organizações, sociedade, pessoas e outros sistemas terão que atender. Discuti-los num contexto de software, que apoiarão estes sistemas, é importante para que se possa ter uma visão interdisciplinar para um desafio de tal magnitude. O desafio aplica-se tanto na forma de uso de softwares para prover transparência, como na própria transparência da arquitetura, componentes e métodos de construção dos softwares em si. Discutir sob a ótica de pesquisa como tratar estes desafios indicando de que forma a criação de métodos e tecnologias pode dar efetivo apoio à sua adoção nas mais diversas áreas e segmentos de mercado é o objetivo central do V Workshop de Transparência em Sistemas (WTranS).

Comitê Organizador

Claudia Cappelli (UNIRIO), Vanessa Nunes (UnB)

Palestras

Anonimização e proteção de informações pessoais na transparência passiva

Organização Transparência Brasil – Manoel Galdino (Diretor Executivo)

Iremos apresentar nossa experiência com acesso aos pedidos e respostas dos órgãos governamentais, e como (não) funciona a proteção de dados pessoais. Além disso, iremos discutir os desafios da anonimização após a coleta dos dados: como estão organizados os dados e apontamentos de algoritmos de machine learning que poderiam ser úteis para endereçar o problema

Bio: Manoel Galdino (diretor-executivo) Economista e doutor em ciência política pela Universidade de São Paulo. Cientista de dados, foi gerente de analytics e inovação em uma agência de marketing e data leader em uma multinacional no Brasil.

A Transparência Brasil é a principal ONG de combate à corrupção do país, sendo a entidade não governamental do tipo mais mencionada nas páginas dos principais veículos de comunicação brasileiros. Como representantes da sociedade civil, faz parte dos conselhos de Transparência da Controladoria Geral da União, do Senado Federal e do governo do Estado de São Paulo. Ela foca sua atuação na busca pela integridade do poder público, principalmente por meio do aumento da informação disponível. Seu trabalho é dividido em duas áreas: (i) monitoramento das instituições, que trata do processamento e análise de dados públicos brutos e à sua tradução em informação útil para o cidadão; e (ii) advocacy, que diz respeito ao fomento do debate público sobre temas relevantes envolvendo corrupção e integridade das instituições.

Trabalhos aceitos

Transparência de Software Centrada na Análise de Sites

Luiz Paulo Carvalho, Claudia Cappelli, Flávia Maria Santoro

Análise da Plataforma de Participação Social: Participação do Cidadão e Organizações na Elaboração de Políticas Públicas

Vladimir Fagundes, Jonice de Oliveira Sampaio

Pesquisando sobre Transparência: Resultados Preliminares de um Mapeamento Sistemático

Elizabeth Suescún Monsalve, Julio Cesar Sampaio do Prado Leite

Combate à corrupção através de relacionamentos interorganizacionais transparentes

Bruna Diirr, Claudia Cappelli

Um Panorama sobre a Acessibilidade para Transparência em Sites de Institutos Federais do Centro-Oeste do Brasil

Camila L. Silva, João Augusto Felberg, João Cabano, Anderson C. Lima

Existe uma Demanda de Transparência? Análise de comentários à Projetos de Lei

Roxana Lisette Quintanilla Portugal, Priscila Engiel, Julio Cesar Sampaio do Prado Leite

Um Estudo de Caso de Acesso à Opinião do Cidadão no Processo de Construção e Implementação de um Projeto de Cidades Inteligentes em Rio das Ostras

Flavia Bernardini

Sistema Web De Avaliação Da Produção Científica Brasileira (SWAP-BR)

Felipe O. Simões, Jacques Duílio Brancher

Método TRADIN: transparência governamental com a cooperação da economia digital

Giovanni C. Biffi, Eunice P. Santos Nunes, Cristiano Maciel

Transparência de Software Centrada na Análise de Sites

Luiz Paulo Carvalho², Claudia Cappelli^{1,2}, Flávia Maria Santoro¹

¹DIA– Departamento de Informática Aplicada

²PPGI– Programa de Pós-graduação em Informática

Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (UNIRIO)

Av. Pasteur, 296 - Urca - CEP 22290-240 – Rio de Janeiro – RJ – Brasil

{luiz.paulo.silva, claudia.cappelli, flavia.santoro}@uniriotec.br

Abstract. *The main goal of certain government sites is to present data, processes, and rules, considering the need for compliance with the Law of Access to Information. Nevertheless, not all of them fulfill basic requirements for transparency, often exposing the required elements without due structures of access, use, quality, understanding, and audibility. This paper proposes a questionnaire that allows evaluating if a site meets the characteristics of transparency through the operations defined in the Catalog of Software Transparency.*

Resumo. *Determinados sites possuem como função principal apresentar dados, processos e regras, atendendo às iniciativas públicas para conformidade da organização com a Lei de Acesso à Informação. Apesar disso, nem todos cumprem requisitos básicos de transparência, expondo muitas vezes os elementos requeridos sem as estruturas devidas de acesso, uso, qualidade, entendimento e auditabilidade. Este trabalho propõe uma avaliação de sites através de um questionário que permita avaliar se estes atendem às características da transparência através das operacionalizações definidas no Catálogo de Transparência de Software.*

1. Introdução

O acesso às informações referentes às instituições públicas é garantido ao cidadão pela Lei de Acesso à Informação (LAI) ou Lei 12.527 (Brasil, 2011), regulamentada pelo decreto Nº 7.724 (Brasil, 2012) criando mecanismos que possibilitam, a qualquer pessoa, física ou jurídica, sem necessidade de apresentar um motivo explícito de uso da informação, o recebimento de informações públicas dos órgãos e entidades. Tais informações podem ser apresentadas de forma ativa, por requerimento do cidadão, ou passiva, disponibilizadas espontaneamente e voluntariamente pela organização.

A Corregedoria Geral da União (CGU), a partir do decreto regulamentado, ordenou a operacionalização de iniciativas de transparência nos alvos previstos em lei, entre eles as universidades federais de ensino superior. Estas instituições possuem iniciativas e políticas próprias de transparência para garantir a execução da LAI e assim estar em conformidade com a fiscalização e monitoramento da CGU. Analisando alguns exemplos como a Universidade Federal Fluminense (UFF) ¹ e Universidade Federal do

¹ <https://sistemas.uff.br/transparencia>

Estado do Rio de Janeiro (UNIRIO) ², podemos ver que estas possuem sites centralizados específicos para este fim. Neste trabalho serão apresentadas as características da UNIRIO.

Para suprir esta demanda, a UNIRIO criou a Comissão Permanente de Transparência Organizacional (CPTO) que tem como objetivo executar e implantar a LAI na instituição. Este trabalho é regulado pela Ordem de Serviço 004, de 25 de maio de 2012 ³. Dois grupos de trabalho foram iniciados por Portarias determinadas, em 2012 e 2015 ⁴. A iniciativa foi delegada desde seu início à Pró Reitoria de Planejamento (PROPLAN), sendo responsável pela constituição e encarregada da CPTO atualmente (Portaria n.º 925, de 10 de outubro de 2016) ⁵. A PROPLAN esteve à frente pois a ela é subordinada a Diretoria de Avaliação e Informações Institucionais (DAINF) ⁶.

Todas as iniciativas usaram a Internet como meio para transparência ativa e passiva (Fung et al. 2007), utilizando sites para este fim. Inicialmente, as informações eram disponibilizadas em uma página específica, vinculada à página principal da instituição. Posteriormente, passaram para um site específico, centralizando todas as informações da organização que, como ordena lei, devem ser transparentes. São disponibilizados também formulários para transparência ativa, onde o cidadão pode, sem motivo explícito, requerer informações (aquelas que a lei garante acesso).

Dentre os meios mais acessíveis e disponíveis de apresentar informação pública, um deles é a Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) (Davies, 2015) como a Internet, possibilitando mais alcance e acessibilidade. Na UNIRIO, todas as estruturas que participam da arquitetura organizacional devem apresentar suas informações como ordena a LAI, sendo uma missão não apenas centralizada, mas também fragmentada em cada Unidade Administrativa, Centro, Escola e Programa. Centralizando as informações ortogonais a todas as unidades encontra-se um portal de transparência como indexador das diversas estruturas.

Um dos desafios apresentados pela CPTO é padronizar e criar uma identidade visual para os sites da organização, de forma que eles atendam aos requisitos e boas práticas do Web Design, da arquitetura da informação e da LAI. Entretanto, surge um desafio transversal a este: os três itens citados operacionalizados corretamente objetivam conformidade mandatória a transparência, não cobrindo seus aspectos não-funcionais. A disponibilidade dos dados não garante que, de fato, haja qualidade na transparência, e.g. o website pode não ser interpretado pela maioria dos navegadores; as informações podem estar em extensões impróprias de leitura e uso (como tabelas em formato de imagem); os scripts e plug-ins podem não estar acessíveis; objetos de impossível rastreamento; páginas desconexas do resto do mapa do site; informações confusas e termos complexos; informações sem fontes confiáveis; etc. são exemplos em conformidade com a LAI, mas que efetivamente limitam a transparência. A transparência como objetivo, aplicada, deve também estar alinhada com seus atributos não-funcionais, visando não apenas sua mera operacionalização como sua qualidade efetiva, que garanta ao cidadão, de fato, a transparência (Cappelli, 2009).

² <http://www2.unirio.br/unirio/lai>

³ <http://www.unirio.br/proplan/ordem-de-servico-004-25-05-12-lai>

⁴ <http://www.unirio.br/proplan/transparencia-unirio>

⁵ <http://www.unirio.br/proplan/Portaria109209.12.2016NomeiaCPTO.pdf>

⁶ <http://www.unirio.br/proplan/dainf>

Os conceitos de transparência de software (Leite e Cappelli, 2008) podem ser utilizados neste domínio específico, tendo em vista a ampla disponibilidade de informações, a tendência à personalização das aplicações de acordo com o perfil dos usuários e da complexidade dos softwares e sites. Este viés constrói a proposta que visa solucionar o problema exposto neste trabalho, experimentado pela CPTO e também pelos demais websites das iniciativas de transparência: “Como mensurar e garantir, efetivamente e pelas boas práticas, a transparência em sites, objetivando ou não este fim?”. E sendo o objetivo final deles transparecer dados, processos ou regras: “O site realmente habilita a transparência?”.

A proposta deste trabalho é a criação de um questionário online com perguntas sobre transparência de sites, de acordo com o *Softgoal Interdependency Graph* (SIG) de Transparência, apresentado por Cappelli (2009), expondo exemplos observáveis, glossário para usuários leigos, resposta em escala para possível sistema de mensuração da transparência, interface simples e intuitiva, possibilidade de feedback sobre a iniciativa, etc. Este artefato deverá auxiliar a CPTO da UNIRIO na construção/revisão de seus websites (Institucional, Escolas, Centros, etc.) deixando-os em conformidade com o SIG de Transparência.

O artigo está estruturado da seguinte forma: Seção 2 apresenta o conceito de transparência de software, que é a base para o assunto da Seção 3, transparência de sites, a Seção 4 expõe a proposta de formulário online para aplicar e mensurar a transparência de sites, a Seção 5 conclui o trabalho.

2. Transparência de Software

Transparência pode ser obtida através da implementação de um conjunto de características (Cappelli, 2009). Cappelli (2009) utilizou um SIG (Chung et al. 2000) para representar o conceito de transparência (Figura 1). Este conceito foi aplicado para o domínio da Engenharia de Software, tendo como tópico o software (Leite, 2010).

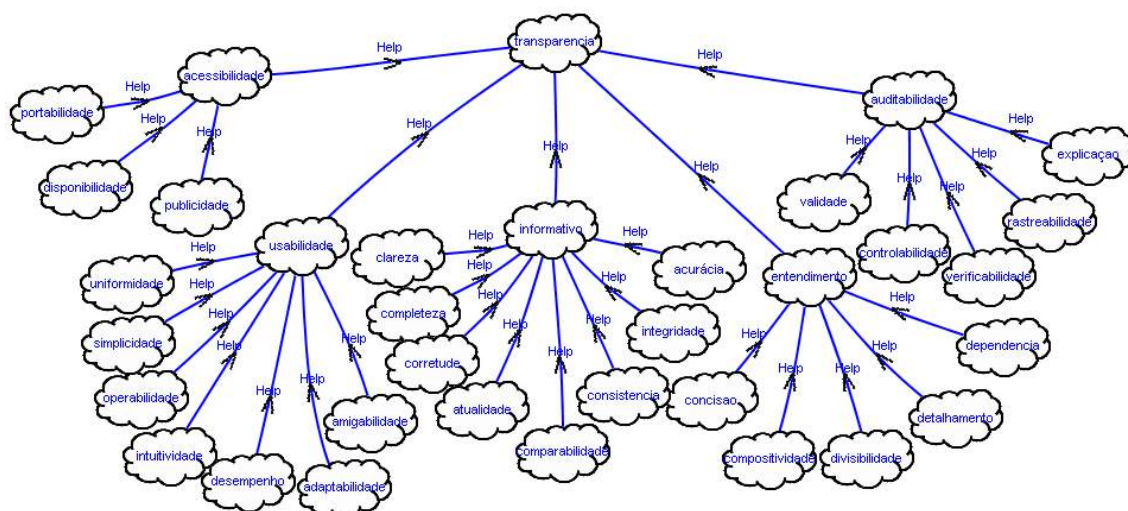


Figura 1: SIG de transparência organizacional, proposto por Cappelli (2009).

Cada característica tem definições como demonstradas na Tabela 1.

Tabela 1 – Descrição das Características do SIG de Transparência. Cappelli (2009).

Características	Descrição. Tem capacidade de..	
Acessibilidade	Portabilidade	Ser utilizado em diversos ambientes.
	Disponibilidade	Aceitar solicitações.
	Publicidade	Ser conhecido.
Usabilidade	Uniformidade	Manter uma única forma.
	Intuitividade	Ser utilizado sem aprendizado prévio.
	Simplicidade	Não apresentar dificuldades ou obstáculos.
	Amigabilidade	Uso fácil.
	Operabilidade	Ser executado.
	Desempenho	Operar adequadamente.
Informativo	Clareza	Prover informações com nitidez.
	Acurácia	Ausência de erros.
	Completeza	Não faltar nada do que pode ou deve ter.
	Corretude	Ser isento de erros.
	Consistência	Resultar aproximadamente em várias medições de um mesmo item.
	Integridade	Ser preciso e rigoroso.
	Comparabilidade	Ser confrontado com outro para lhe determinar diferença, semelhança ou relação.
	Atualidade	Refletir a última informação ou mudança.
Entendimento	Compositividade	Construir ou formar a partir de diferentes partes.
	Concisão	Ser resumido.
	Divisibilidade	Ser particionado.
	Adaptabilidade	Mudar de acordo com as circunstâncias e necessidades.
Auditabilidade	Explicável	Explicar os dados, procedimentos e regras.
	Rastreabilidade	Seguir o desenvolvimento de um processo ou a construção de uma informação, suas mudanças e justificativas.
	Verificabilidade	Ser legitimado, identificar se o que está sendo feito é o que deve ser feito.
	Validade	Ser testado por experimentação ou observação, identificar se o que está sendo feito é correto.
	Controlabilidade	Ser controlado.

Cada uma das características é implementada a partir de uma ou mais operacionalizações. Elas têm como objetivo analisar e avaliar a prática das características, e.g. a concisão pode ser alcançada fazendo uso de resumos ou opções de expansão para visualizar “mais detalhes”; uniformidade é operacionalizada com

consistência entre informações, páginas, layout, etc.; adaptabilidade pode ser alcançada quando se permite ao usuário que utilize dados diferentes com o mesmo valor semântico (se não tiver CPF, então o passaporte para identificá-lo); uma diagramação bem arquitetada e implementada gera mais simplicidade, uma outra operacionalização da simplicidade é o uso consciente e com boa prática das cores; etc.

Para um software ser dito totalmente transparente ele deve estar habilitado com todas as características descritas na Tabela 1 através de operacionalizações específicas para software. Um software é considerado transparente quando: (i) apresenta informações de forma transparente (transparência de informações geradas pelo software) e (ii) quando apresenta informações sobre si, como opera, o que faz e o motivo (transparência do processo de desenvolvimento de software) (Leite e Cappelli, 2008). O Catálogo de Transparência de Software ⁷ apresenta características e operacionalizações específicas para atender a estes dois tipos de transparência de softwares em geral.

Como exemplos de transparência de software temos: o uso e manutenção dos padrões de nomes (como variáveis, funções, módulos, etc.), podendo ser operacionalizada também na Web com os seletores de id e classe no *Cascade Style Sheet* (CSS) (uniformidade); resolução e aprimoramento do tempo de falha (operabilidade); organização do tamanho dos módulos e das sentenças no código (intuitividade); disponibilização do código de forma aberta (adaptabilidade); entre outras. Estes tipos de operacionalizações de transparência de software se enquadram na transparência do processo de desenvolvimento de software, não se relacionando diretamente à LAI.

3. Avaliação de Transparência em sites

Para avaliação da transparência em sites de diferentes domínios (ex. sites de compra e venda, sites de empresas telefônicas e sites públicos) foi proposto um questionário desenvolvido durante a construção do Catálogo de Transparência (Cappelli, 2009). Este questionário ⁸ é composto de 93 perguntas que permitem investigar as operacionalizações de cada característica definida (Cappelli, 2009). Cada pergunta possui um objetivo, uma categorização de respostas, utilizando a Escala Likert (Likert, 1932) e justificativas.

O questionário é dividido em seções que representam as características da Tabela 1 de acordo com o SIG de Transparência (Cappelli, 2009). As subseções apresentam as demais características, formando um modelo detalhado para análise de transparência em sites. O uso de perguntas tem o propósito de investigar o comportamento do site quanto a transparência usando como base a própria opinião dos usuários.

O modelo para a apresentação das perguntas é descrito na Figura 2. O mesmo é composto de três áreas principais: i) área reservada para a pergunta e exemplos; ii) área reservada para os objetivos e as justificativas; e iii) área reservada para questionamentos, esclarecimentos extras, comentários e, caso necessário, glossário. Foram usadas cores, espaçamentos e um layout em tabela para facilitar o entendimento

⁷ http://transparencia.inf.puc-rio.br/wiki/index.php/Catálogo_Transparência

⁸ <http://pes.inf.puc-rio.br/questionario/index.html>

por parte dos usuários. Cada característica agrupadora foi definida como um critério de avaliação e as demais foram definidas como subcritérios. Cada uma delas foi explicada usando uma descrição acerca do seu significado. As descrições foram adaptadas a partir das descrições da Tabela 1 para atenderem ao tópico de sites. Essas descrições ficam disponíveis para consulta dos usuários. A Figura 2 apresenta a descrição para “Acessibilidade” / “Portabilidade”.

<p>1 – Critério Acessibilidade: Capacidade de acesso.</p> <p>1.1. Sub-critério Portabilidade: Capacidade de ser interpretado em diferentes navegadores.</p> <p>Questão 1: O site pode ser acessado por diferentes <i>browsers</i>? Ex.: O site das lojas Americanas pode ser acessado via <i>Mozilla Firefox</i>, <i>Google Chrome</i>, dentre outros.</p> <ul style="list-style-type: none"> ❖ Objetivo: Investigar se o site está preparado para ser acessado usando qualquer <i>browser</i>, seja através de <i>plug-ins</i> ou outras tecnologias apropriadas. ❖ Justificativa: Garantir a portabilidade em diferentes <i>browsers</i> para facilitar o acesso aos conteúdos oferecidos pelo site. <p>() POR TODOS OS BROWSERS QUE CONHEÇO () PELA MAIORIA DOS BROWSERS QUE CONHEÇO () PELA MINORIA DOS BROWSERS QUE CONHEÇO () POR APENAS UM BROWSER QUE CONHEÇO () POR NENHUM DOS BROWSERS QUE CONHEÇO () NDA</p> <p>Se possível, especifique quais <i>browsers</i> tentou e quais funcionaram: _____</p> <p>Comentários: _____</p>
--

Figura 2: Exemplo de pergunta do questionário

Esta proposta alinha-se ao paradigma de transparência proposto por Cappelli (2009), diferenciando-se de demais abordagens com características semelhantes dedicados ao domínio Web. Acessibilidade, por exemplo, no contexto de Web significa que pessoas com deficiências possam usá-la (Henry e Arch, 2012), como cegos, idosos, pessoas com baixo nível de instrução, utilizando equipamentos antigos, etc.; usabilidade assegura que algo funcione bem, uma pessoa com habilidade e experiência comuns possa usar a Web para seu propósito desejado sem ficar frustrada com isso (Krug, 2014) (Nielsen, 1993), como diagramação, área de clique, aparência, abas, migalhas, etc. A acessibilidade e usabilidade do contexto de transparência diferem da Web, já que possuem escopos diferentes. Não necessariamente um site transparente (que corresponda a todas as características) será um site com boa qualidade pelos critérios da Web, e vice-versa.

4 Proposta de formulário para avaliação de sites

A abordagem citada na seção anterior encontra-se disponível online ⁸. Porém, como foi desenvolvida durante a construção do SIG de Transparência, a última versão e suas operacionalizações estão defasadas frente ao SIG de Transparência atual pois algumas de suas características foram alteradas, e.g., a característica de Divulgação se tornou

Publicidade na última versão do SIG de Transparência. Para o questionário atualizado e aprimorado deverá ser criado um novo formulário online. Todos os elementos e decisões de conteúdo existentes na versão atual serão mantidos, sendo eles:

- ❖ **Uso de alternativas:** como se trata de um questionário extenso, optou-se pelo uso de alternativas para estimular a participação dos voluntários e simplificar as respostas.
- ❖ **Uso de cores nas alternativas:** serão usadas cores em tons graduais. A analogia escolhida como base para o uso das cores está na associação com notas vermelhas e azuis e no uso de uma cor básica (cinza) para representar a neutralidade. Quanto mais próximo de um comportamento transparente o site estiver, mais azul é a cor da alternativa, utilizando o mecanismo da Escala Likert (Likert, 1932). Quanto mais desaprovado o comportamento do site em termos de transparência, mais vermelha é a cor da alternativa. O usuário pode ainda poderá optar pela neutralidade, quando o site é “parcialmente” transparente.
- ❖ **Uso de barras para divulgação dos resultados parciais aos usuários:** optou-se por usar barras indicando os resultados parciais da pesquisa. Esse resultado será apresentado ao usuário sempre que o mesmo responder um conjunto de perguntas relacionadas a um determinado subcritério. Não é possível a visualização prévia (antes de responder as perguntas), para não influenciar as respostas.
- ❖ **Uso de objetivos e justificativas para cada pergunta:** o uso de objetivos e justificativas, além de ajudar no refinamento do questionário, também visará melhorar o entendimento e reforçar o propósito de cada pergunta.
- ❖ **Uso de ocultação dos detalhes:** alguns detalhes serão ocultados usando o símbolo (+) para não “poluir” demais a interface com informações que nem sempre agradam os usuários e melhorar a concisão. Entretanto, será permitida a visualização dessas mesmas informações por aqueles que desejam obter maiores detalhes.
- ❖ **Uso de tabelas divididas em áreas específicas para cada informação disponibilizada no formulário:** será usada apresentação gráfica em tabela, dividida em áreas para a postagem específica de informações. Essa prática padroniza a exposição de ideias, deixando as informações mais claras.
- ❖ **Uso de seções e subseções para cada critério e seus subcritérios:** serão usadas seções e subseções visando: i) facilitar a exposição das informações; ii) facilitar o entendimento do usuário; e iii) avaliar separadamente cada critério de transparência e seus subcritérios.
- ❖ **Uso de exemplos na maior parte das perguntas:** serão adotados exemplos, reais, genéricos ou fictícios, para a maioria das perguntas com o objetivo principal de esclarecer possíveis dúvidas dos usuários quanto ao propósito de cada pergunta.

A usabilidade, eficácia e eficiência da abordagem desatualizada foram avaliadas como favoráveis ao objetivo da mesma (Cappelli, 2009). Logo, seus elementos serão mantidos, sendo feitas as devidas atualizações de forma a estar compatível com a última versão do SIG de Transparência e também incluindo algumas melhorias quanto a clareza e comparabilidade de informações:

- ❖ **Responsividade:** a nova interface será responsiva, para melhor uso em aparelhos móveis e tablets;

- ❖ **Atualização das perguntas e respostas:** melhorar a clareza e objetividade das respostas, resolver problemas semânticos e esclarecer itens duvidosos;
- ❖ **Revisão dos exemplos das perguntas:** revisar e atualizar os exemplos presentes nas perguntas, tendo em vista que os sites dos exemplos são atualizados. Buscar novos exemplos para as perguntas ainda sem exemplos;
- ❖ **Glossário:** perguntas com termos técnicos complexos, e.g. plug-in, terão um glossário simples ou condução para outro site explicativo para que o questionário tenha maior alcance, não sendo apenas utilizado por especialistas do domínio Web;
- ❖ **Mecanismo de valoração, quantificação e comparação de transparência:** permitir comparação entre sites no aspecto transparência, permitindo que eles não sejam apenas avaliados como comparados e valorados dependendo das respostas no formulário. Duas opções são propostas: avaliar a transparência individualmente, categorizando em uma escala de transparência, e comparativamente entre dois ou mais sites, notificando qual possui melhor transparência e qual característica um tem melhor que o outro. As perguntas e respostas precisam ser atualizadas para este fim;
- ❖ **Revisão com base em tecnologias Web atualizadas:** Adequar o artefato a novas tecnologias, como HTML 5 e CSS 3, não disponíveis na época em que foi construído.

A Figura 3 expõe um exemplo de uma pergunta incluída na nova versão do questionário, da característica “Informativo” / “Acurácia” utilizando as decisões descritas.

<p>Questão 3: Caso o site defina determinado processo, o mesmo é realizado de acordo com a sua definição? Ex: No site das lojas Americanas são descritos, previamente, os cartões aceitos no pagamento das compras. No ato da compra, esses cartões são realmente aceitos.</p>
<p>Objetivo: Investigar se o site informa adequadamente detalhes sobre os seus processos, como por exemplo, definições que condizem com as seqüências de ações realizadas ao longo dos processos.</p>
<p>Justificativa: Garantir que o site seja informativo, claro e de fácil uso por parte dos usuários.</p>
<p> <input type="radio"/> SEMPRE <input type="radio"/> NA MAIORIA DAS VEZES <input type="radio"/> ALGUMAS VEZES <input type="radio"/> POUCAS VEZES <input type="radio"/> NUNCA <input type="radio"/> NDA </p>
<p>Se possível, cite um exemplo:</p> <input type="text"/>
<p>Comentários :</p> <input type="text"/>

Figura 3: Proposta de como será exposta uma pergunta do questionário no formulário online.

5. Conclusão

Este trabalho buscou apresentar como avaliar a transparência centrada na análise de sites. Seu principal objetivo foi buscar mecanismos que possam auxiliar a CPTO da UNIRIO a habilitar a transparência em seus sites informacionais. Esse trabalho usou como base uma primeira iniciativa de análise de transparência em sites apresentada na Seção 3, onde foram determinadas as principais características que ajudam a analisar transparência. Estas características foram usadas como critérios, de acordo com o SIG de Transparência. Os critérios contemplados na análise são: acessibilidade, usabilidade, informativo, entendimento e auditabilidade. Associados a esses critérios existem vários

outros subcritérios (ex. portabilidade, clareza e validação) que também foram utilizados visando uma análise mais refinada e modularizada. Como instrumento de avaliação de sites sob a perspectiva da transparência, foi desenvolvido um questionário.

Atualmente, este questionário encontra-se desatualizado pois foi construído ao longo do desenvolvimento do SIG de Transparência. A proposta deste trabalho foi revisar este questionário já existente, verificando o que deve ser mantido e definindo como este deve ser atualizado, incluindo também alguns novos elementos para melhoria do mesmo.

Como trabalho futuro será implementada sua versão online, o Formulário Transparência Online. Será também implementado um banco de dados e elaborados os desenhos lógico e físico do mesmo. Buscar-se-ão voluntários para utilização do formulário, armazenadas e analisadas suas respostas para averiguar a utilização do artefato. Realização de estudos para que o artefato abranja também plataforma mobile.

Um dos desafios observados é que como a TIC, incluída nela a Web, está em constante desenvolvimento e mudança, desta forma, o formulário online deve ser atualizado constantemente, verificando se os exemplos ainda são reais e usáveis, se não há necessidade de mais perguntas, mudanças nas perguntas atuais, etc.

6. Referências

- Brasil, DECRETO Nº 7.724, DE 16 DE MAIO DE 2012. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/decreto/d7724.htm. Acesso em: 03/03/2017.
- Brasil, LEI Nº 12.527, DE 18 DE NOVEMBRO DE 2011. "Lei de Acesso à Informação". Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2011/lei/112527.htm. Acesso em: 03/03/2017.
- Cappelli, C. (2009) "Uma Abordagem Para Transparência Em Processos Organizacionais Utilizando Aspectos". Tese de Doutorado, Pontificia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Brasil.
- Chung, L., Nixon, B. A., Yu, E., Mylopoulos, J. (2000) "Non-Functional Requirements in Software Engineering." Kluwer Academic Publishers, Londres.
- Davies, R. (2015) "eGovernment: Using technology to improve public services and democratic participation". Serviço de Pesquisa do Parlamento Europeu, União Europeia.
- Fung, A., Graham, M. e Weil, D. (2007) "Full Disclosure: The Perils and Promise of Transparency". Cambridge University Press, Estados Unidos da América.
- Henry, S., Arch, A. (2012) "Developing a Web Accessibility Business Case for Your Organization". W3C. Disponível em: <https://www.w3.org/WAI/bcase/> Acesso em: 03/03/2017.
- Krug, S. (2014) "Don't Make Me Think, Revisited: A Common Sense Approach to Web Usability". New Riders Publishing, Estados Unidos da América.
- Leite, J. C. S. P. (2010) "Software Transparency". Procedimentos do 13º Congresso Iberoamericano em Engenharia de Software.

- Leite, J. C. S. P., Cappelli, C. (2008) “Exploring i* Characteristics that Support Software Transparency”. Procedimentos do 3º i* Workshop Internacional.
- Likert, R. (1932) "A Technique for The Measurement of Attitudes". Universidade de Nova Iorque, Arquivos de Psicologia.
- Nielsen, J. (1993) "Usability Engineering". Morgan Kaufmann, Estados Unidos da América.

Análise da Plataforma de Participação Social: Participação do Cidadão e Organizações na Elaboração de Políticas Públicas

Vladimir Fagundes, Jonice de Oliveira Sampaio

Universidade Federal do Rio de Janeiro – Programa de Pós-graduação em Informática (UFRJ/PPGI)

Térreo, Bloco E, CCMN/NCE, Cidade Universitária

Caixa Postal 68.530

Rio de Janeiro/RJ, Brasil, 21941-590

vladimir.fagundes@gmail.com, jonice@dcc.ufrj.br

Abstract. *The demand for better services, transparency and participation in public policy development, causes the Brazilian Government set actions that approach the citizen to the State. One of the actions was the construction of the Participa.br, a social network that allows the interaction of citizens and public policy. However, it is imperative to know the interactions generated by this social network. In this context, this study develops an analysis of the Participa.br to make the recognition of the elements, relationships and actors contained on the platform, in order to identify organizations with a high degree of influence on policies directed towards E-Government. The techniques of social network analysis identified the relationships between public consultations and suggestions that contributed to policy developments.*

Resumo. *A exigência por melhores serviços, transparência e participação na elaboração de políticas públicas, faz com que o Governo Brasileiro programe ações que aproximem o cidadão ao Estado. Uma das ações foi a construção do Participa.br, rede social que permite a interação do cidadão e políticas públicas. Porém, é imperativo conhecer as interações geradas por essa rede social. Neste contexto, este estudo elabora uma análise do Participa.br que viabiliza o reconhecimento dos elementos, relacionamentos e atores contidos na plataforma, com intuito de identificar organizações com alto grau de influências em políticas voltadas para Governo Eletrônico. As técnicas de análise de redes sociais permitiram identificar as relações entre consultas públicas e as sugestões que contribuíram para evolução das políticas.*

1. Introdução

O termo “gestão pública participativa”¹ tornou-se corriqueiro nos discursos políticos dos atores governamentais, porém sua prática não efetivada e o estímulo a participação do

¹ Gestão Pública Participativa (co-gestão pública) - são às intervenções populares, constituídas pelo conjunto de cidadãos ou associações representativas da comunidade, sobre a qual incidirão as políticas públicas, cujas demandas ganham visibilidade através das consultas populares, audiências públicas ou concerto. Aquelas intervenções têm como fim influenciar o conteúdo da

cidadão é ineficiente. Disputas de interesses, precariedade de uma cultura participativa e democrática se faz notar tanto na burocracia estatal quanto nas organizações da sociedade e no setor privado, dificultam a consolidação dos espaços de diálogo e negociação sobre as políticas.

A sociedade brasileira cada vez mais clama por profissionalismo e excelência na administração pública, bem como por melhor qualidade de vida e redução das desigualdades sociais. O cidadão passa a exigir, em níveis progressivos, melhores serviços, respeito à cidadania e mais transparência e efetividade no uso dos recursos públicos. Nesse aspecto, a busca pelo aperfeiçoamento e pela profissionalização da administração pública assume papel fundamental para maximizar o desempenho do Estado brasileiro.

Tal participação gerou ações do Governo Federal no intuito de aproximar o cidadão às ações do Estado. Primeiramente, a criação do Gabinete Digital, lançado em setembro de 2013, foi anunciada como resposta às manifestações ocorridas no território brasileiro em junho do ano de 2013. A segunda medida foi a construção de um espaço digital que facilitasse que cada indivíduo da sociedade interagisse com as políticas públicas chamado de Portal da Participação Social (Participa.br) [BRASIL 2014]. Sendo foco de o Portal agregar as informações públicas; aprimorar a comunicação do Governo com os servidores e aperfeiçoar os canais de interação com a população.

Contudo, apesar da iniciativa de construção de um portal para participação social constituir um avanço sobre o tema “diálogo entre Entidade Pública e Sociedade”, sua construção é apenas o primeiro passo para que a formulação de políticas públicas se reflita em ações que gerem benefícios sociais. A partir desse momento torna-se imperativo conhecer as interações geradas pelo Participa.br e entender como o governo e as organizações públicas ou privadas se beneficiaram desse novo instrumento de comunicação.

Nesse cenário, a análise de redes sociais toma força e torna-se um instrumento que viabiliza a análise dos elementos e atores que interagem no processo de formulação de políticas públicas, assim como as relações que emergem dessa interação, oferecendo informações relevantes para a elaboração de estratégias destinadas ao fortalecimento da ação coletiva entre os diferentes agentes envolvidos. Essa abordagem permite compreender como as estruturas sociais e os padrões de relações podem influenciar no processo e direcionar os resultados obtidos.

Sendo assim, este estudo visa analisar o módulo “consulta pública” da rede social Participa.br utilizando como fonte de informações os dados disponíveis na ferramenta. Mesmo sabendo que as consultas são participações individuais e voluntárias, os dados foram agrupados pelas organizações as quais autor da contribuição é vinculado, com intuito de responder a seguinte pergunta de pesquisa “Qual a influência das organizações de TI na elaboração de políticas públicas voltadas para o governo eletrônico utilizando como base o Participa.br?”.

decisão administrativa de modo efetivo ou se constituírem na própria decisão administrativa definidora daquelas políticas.
[SOARES 1997]

Esse artigo está estruturado da seguinte forma: além desta seção, que apresenta cenário, motivação, especificação do problema, a pergunta de pesquisa e a organização do estudo, existem outras três seções, organizadas conforme se descreve a seguir.

A Seção II apresenta a metodologia de pesquisa aplicada ao artigo, a forma de coleta de dados, dando uma visão geral do que é a plataforma Participa.br e de como os dados estão estruturados na mesma. Além disso, detalha como os dados da plataforma foram transformados para elaboração do estudo. A Seção III apresenta quais métricas foram utilizadas e as análises dos dados tomando como base tabelas e grafo gerados pela ferramenta Gephi (ferramenta escolhida para dar suporte às análises da pesquisa). A Seção IV oferece as conclusões desta pesquisa, demonstrando suas contribuições, limitações e trabalhos futuros.

2. Metodologia de Pesquisa

Em função dos objetivos, esta pesquisa é classificada como descritiva, utilizando a estratégia de estudo de caso. Neste estudo foi usada a pesquisa descritiva que, segundo Vergara (2014), tem como objetivo a descrição das características de determinada população, fenômeno ou o estabelecimento de relações entre as variáveis.

2.1. Coleta dos Dados

Para melhor contextualizar a coleta de dados esta seção descreve um pouco o que é o Participa.br e como seus dados estão estruturados. A Figura 1 apresenta a tela inicial do Portal.



Figura 1 - Tela Inicial da Ferramenta Participa.br

O Portal da Participação Social é uma plataforma virtual voltada à construção de um conjunto de ambientes que poderão ser utilizados por gestores e servidores para proporcionar novas formas de participação a serem apropriadas pela cidadania e à contextualização, organização e facilitação do acesso do cidadão às formas de incidir nas políticas públicas do governo brasileiro, objetivando servir como um repositório agregador do conhecimento sobre participação social disperso na rede. Os Usuários terão acesso a ferramentas de comunicação e interação, fóruns de debate, chat, vídeos, mapas, trilhas de participação com mecanismos de consulta [BRASIL 2014].

Para o contexto deste estudo a trilha “consulta pública” será objeto da análise, visto que se pretende analisar a construção colaborativa de políticas públicas. Apesar da

consulta pública ser um instrumento de construção de conhecimento colaborativo individual, esta pesquisa optou por obter informação da organização vinculada a cada autor de sugestão submetida, além disso outro dado preponderante para pesquisa foi a identificação de qual tópico disponibilizado para debate público, entende-se por tópico: Guias, *Framework* Corporativo, Políticas Públicas, Ações e Programas Estratégicos do Governo Federal.

A Figura 2 mostra o modelo conceitual da Plataforma.

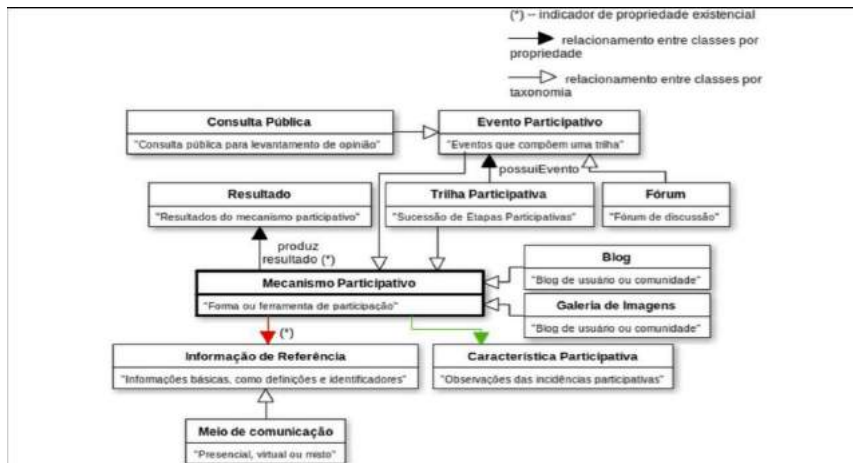


Figura 2 - Modelo Conceitual - Fonte: [FABRI 2014 apud MEIRELIES 2014]

Os dados coletados seguem ao diagrama apresentado na Figura 3, onde as informações das consultas públicas são armazenados utilizando as classes {ConsultaPublica}, {Item}, {Sugestao}, {Autor} e {Empresa}. O arquivo recebido para elaboração da pesquisa foi no formato csv(Comma-Separated Values).

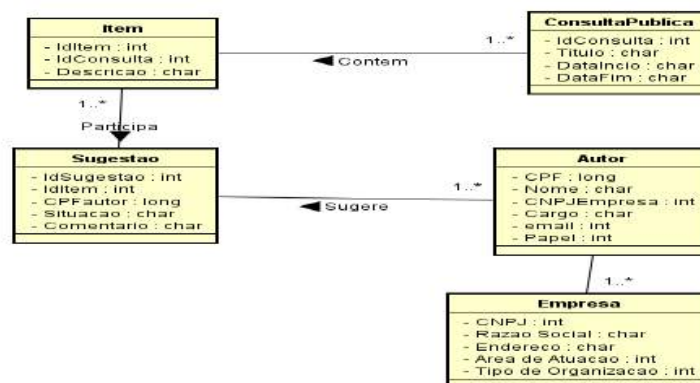


Figura 3 - Diagrama das Classes Vinculadas a Consulta Pública do Participa.br

2.2. A Transformação dos Dados

A transformação dos dados seguiu a seguinte sequência: a) eliminar os dados de baixa relevância para preparação do ambiente analítico; b) assegurar que as informações pessoais fossem preservadas; c) identificar dados inconsistentes; e d) colocar os dados no formato que a ferramenta reconheça.

Dessa forma, os dados foram carregados da seguinte maneira: informações contidas na classe {Sugestao} passaram a integrar a Tabela Aresta onde, quando a

situação estava preenchida com “0” (não aceito) o atributo “Source” foi preenchido com Identificador do Autor e o atributo “target” preenchido com Identificador da Consulta, para o caso da situação igual a “1” (aceito) o atributo “Source” foi preenchido com Identificador da Consulta e o atributo “target” preenchido com Identificador do Autor. Para preencher a Tabela Nó utilizou-se Identificador do Autor e Nome da Organização. A ferramenta Gephi² foi o software escolhido para gerar a estrutura da rede, o grafo de distribuição da rede e a visualização dos graus de entrada e saída. A Figura 4 mostra um extrato das tabelas preenchidas.

Tabela de dados		Tabela Aresta	
ID	Label	Origem	Destino
A1	SERPRO	A1	A2
A2	GUIA DE GOVERNANÇA DO SISP	A1	A2
A3	HBSIS SOLUÇÕES DE TI LTDA	A1	A2
A4	ENAP	A1	A2
A5	INSTITUTO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO EM CI	A1	A2
A6	INTERIOR CONSULTORAS LTDA	A2	A1
A7	DACTICOS	A2	A1
A8	CIES/FR	A2	A1
A10	PUC/FR	A2	A1
A11	GUIA DE POTIC DO SISP	A3	A2
A12	UFRJGS	A3	A2
A15	ORACLE	A3	A2
A16	MICROSOFT	A3	A2
A19	CONSULTA PÚBLICA VERSÃO 2017	A4	A2
		A4	A11
		A2	A4
		A3	A2
		A5	A2
		A5	A2
		A5	A2

Figura 4 - Tabelas Nós e Aresta Fonte: Autor gerado no Software Gephi

Ainda em relação aos dados utilizados nesta pesquisa, estão computadas as informações referentes à consulta pública para o Guia de Governança de TIC do SISP (modelo referencial de governança de TIC do SISP³, para que órgãos e entidades do Sistema desenvolvam e aperfeiçoem a governança de TIC em suas instituições [MPOG 2015a]); Guia de PDTIC⁴ do SISP (tem por finalidade disponibilizar conhecimento para auxiliar a elaboração e o acompanhamento de um PDTI, para aprimorar a gestão da TI nos órgãos da Administração Pública Federal – APF[MPOG 2015b]); e Consulta Pública versão 2017 (conhecida como ePING⁵ define que, sempre que possível, serão adotados padrões abertos nas especificações técnicas [BRASIL 2017]). Acrescenta-se que por termos informações apenas de três consultas, o volume de dados é relativamente pequeno.

Em relação aos indicadores de rede utilizados no estudo destacam-se o grau de entrada (é a soma das interações que os nós têm com os outros - $\sum k(\text{in})$) e o grau de saída (é a soma das interações que os nós têm com os outros - $\sum k(\text{out})$). Para verificar a influência de um determinado nó dividiu-se o grau de entrada pelo grau de saída.

Equação - Grau de Influência é: $\frac{\sum k(\text{in})}{\sum k(\text{out})}$

2 A ferramenta para manipulação de grafos mais utilizada tem sido o Gephi, um software livre colaborativo mantido por um sediado na França, com inúmeras aplicações em áreas como as ciências biológicas ou a economia – aqui, comentamos sua utilização em projetos ligados à história e à análise textual.

3 Sistema de Administração dos Recursos de Tecnologia da Informação - SISP

4 Plano Diretor de Tecnologia da Informação e Comunicação - PDTIC

5 Padrões de Interoperabilidade de Governo Eletrônico - ePing

3. Análise de Resultados

A primeira análise das consultas públicas do Participa.br é feita apresentando a distribuição do grau de entrada e saída agrupando as sugestões enviadas pelos autores por instituição vinculada, como pode ser observado na Figura 5 apresentada abaixo.

Id	Label	Interval	Grau de entrada	Grau de saída	Grau
A1	SERPRO		19	29	48
A2	GUIA DE GOVERNANÇA DO SISP		58	29	87
A3	HBSIS SOLUÇÕES DE TI LTDA		2	6	8
A4	ENAP		6	11	17
A5	INSTITUTO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO EM CI		2	8	10
A6	INTEGRAL CONSULTORIAS LTDA		4	7	11
A7	DATAPREV		9	14	23
A9	CIEE/PR		2	5	7
A10	PUC/PR		4	8	12
A11	GUIA DE PDTIC DO SISP		26	14	40
A12	UFRGS		1	3	4
A15	ORACLE		1	2	3
A16	MICROSOFT		1	2	3
A19	CONSULTA PÚBLICA VERSÃO 2017		11	8	19

Figura 5 - Apresenta a distribuição dos graus de entrada e saída das contribuições das organizações. Fonte: Autor

Observando a Figura 5 e levando em consideração que as consultas públicas foram feitas para: Guia de Governança de TIC do SISP, Guia de PDTIC do SISP e Consulta Pública versão 2017; é possível constatar que os empregados de SERPRO⁶, DATAPREV⁷ e ENAP⁸ são os que enviam mais sugestões (grau de saída) para os temas. Para sugestões aceitas (grau de entrada), também são dessas organizações os autores com maior número de aceitação, fato natural, já que esses órgãos têm suas linhas de negócios alinhados aos entes públicos federais.

Tabela 1 - Grau de Influência das organizações na política pública

Organização	Grau de Entrada $\sum k$ (in)	Grau de Saída $\sum k$ (out)	Grau de Influência $\sum k$ (in) / $\sum k$ (out)
SERPRO	19	29	0,655
DATAPREV	9	14	0,642
ENAP	6	11	0,545
PUC/PR	4	8	0,500
INTEGRAL CONSULTORIAS LTDA	4	7	0,571
INSTITUTO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO E EM CIÊNCIA DA INFORMAÇÃO	2	8	0,25
HBSIS SOLUÇÕES DE TO LTDA	2	6	0,333
CIEE/PR	2	5	0,400
UFRGS	1	3	0,333
ORACLE	1	2	0,500
MICROSOFT	1	2	0,500

6 Serviço Federal de Processamentos de Dados - SERPRO

7 Empresa de Tecnologia e Informações da Previdência Social

8 Fundação Escola Nacional da Administração Pública - ENAP

Analisando com um pouco mais de detalhe é possível inferir outras variáveis que corroboram para a participação de pessoas ligadas as instituições na construção de políticas, primeiramente esses indivíduos, invariavelmente, estão engajados em projetos que serão impactados por tais políticas e, como possuem conhecimentos sobre o tema, têm interesse individual em externar suas sugestões, já o segundo ponto diz respeito aos compromissos dessas instituições com a sociedade, visto que duas são empresas públicas federais e a outra fundação federal.

A Figura 6 apresenta um grafo da rede da interação das organizações com as políticas públicas.



Figura 6 - Grafo gerado das interações das organizações com as políticas públicas. Gerado pela ferramenta Gephi.Fonte: Autor

Ao analisar o grafo apresentado pela Figura 6 fica mais evidente a influência dessas instituições na construção de políticas públicas que se relacionam com suas linhas de negócios. O SERPRO é uma instituição muito atuante contribuindo para elaboração de políticas pública voltada para governo eletrônico mesmo quando a contribuição parte de uma iniciativa individual do seu corpo funcional, não tão distante as contribuições de empregados da DATAPREV ou da ENAP também demonstram ser consistentes na influência das políticas públicas de interesse desses órgãos.

O interesse do SERPRO, DATAPREV e ENAP sobre os três temas de consultas públicas pesquisadas tem um motivo, vejamos: a) a Instrução Normativa 04/2010 [MPOG 2010] determina que “As contratações de que trata esta instrução normativa deverão ser precedidas de planejamento, elaborado em harmonia com o PDTI, alinhado à estratégia do órgão ou entidade.”; b) a mesma instrução normativa em seu capítulo II, artigo 10º, ainda em relação as contratações de serviços de TI, acrescenta que deve as

contratações estar atentas “observância às políticas, premissas e especificações técnicas definidas pelo e-PING e Modelo de Acessibilidade em Governo Eletrônico - e-MAG”.

Contudo, a IN 04/2010 abre uma brecha para contratações de serviços de TI onde o contratado seja o SERPRO, não há necessidade de um PDTIC. Segundo Fagundes (2011) a ENAP desenvolveu o modelo de referência de PDTI, utilizado na SLTI⁹ no Programa Desenvolvimento de Gestores de Tecnologia da Informação – PDGTI ministrado pela ENAP. Já a DATAPREV foi responsável pela elaboração do PDTIC do INSS¹⁰ e do Ministério da Previdência Social, além de ser responsável pela Governança e Gestão de TI para infraestrutura e serviços de TI desses órgãos [TCU 2015].

Tais informações corroboram para a estrutura de relacionamento da rede gerada pelo grafo, visto que essas organizações têm interesses nas políticas públicas relacionadas ao governo eletrônico o que ficou evidenciado no grafo de interações. Contudo, não se pode deixar de mencionar que as sugestões são de cunho individual.

4. Conclusão

Este artigo apresentou a rede formada pelas Consultas Públicas do Guia de Governança de TIC do SISP, Guia de PDTIC do SISP e e-Ping versão 2017 e os autores de sugestões para essas consultas. Por meio de técnica de análise da rede social foi possível a identificação de características de associação e a influências de empresas do ramo de TI ou entidades governamentais de interesse comum em uma determinada política pública.

A primeira análise evidenciou que, mesmo as participações com sugestões e comentários para uma determina consulta pública sendo uma iniciativa voluntária e individual, o vínculo dos autores com organizações que, por força de sua linha de negócio e seus projetos, naturalmente influenciam do indivíduo a externar sua opinião, bem como indiretamente influenciam no debate sobre uma determinada política pública.

Outra forte evidencia encontrada na análise é o grande número de indivíduos ligados a organizações como SERPRO, DATAPREV e ENAP que sentem-se a vontade para participar do debate sobre o tema. Esse conforto é gerado por tais empregados estarem vinculados a projetos e ações que são impactadas direta ou indiretamente pela política pública em questão, visto que o conhecimento adquirido por esses indivíduos os levam a ter clareza sobre os impactos que a política pode gerar na execução dos seus trabalhos e nas relações geradas por essa ação governamental. Desta forma, seus comentários e sugestões têm maior probabilidade de serem aceitos pela comunidade que avalia a contribuição.

Nesse contexto, outra leitura das relações geradas pelo Participa.br é a constatação que SERPRO, DATAPREV e ENAP influenciam bastante as políticas públicas voltadas para o segmento de governo eletrônico, visto que as três organizações apresentaram grau de entrada e saída, o que detona viabilizar políticas que vão ao encontro de seus interesses.

⁹ Secretaria de Logística e Tecnologia da Informação - SLTI

¹⁰ Instituto Nacional de Seguridade Social

As constatações que esse estudo levou foco não fogem do senso comum antes percebido, pois são instituições públicas que trabalham para agentes públicos e, muitas vezes, beneficiam-se da boa relação para influenciar políticas e, conseqüentemente, o mercado no que diz respeito a governo eletrônico.

Entretanto, outra evidência apresentada pela análise é o baixo número de indivíduos com interesse em debater sobre políticas ligadas a TI, a oportunidade de debater políticas públicas é um clamor social, porém quando existe um espaço essa interação não acontece no volume desejável. Deve-se refletir sobre como o canal comunicação foi aberto, quais mecanismos foram utilizados para facilitar a participação popular, como viabilizar o desejo por um envolvimento do cidadão.

É louvável que um novo espaço seja criado para aproximar governo e sociedade, porém esse espaço precisa evoluir para que o ambiente participativo seja bem aproveitado gerando políticas eficazes, eficientes e efetivas.

De forma geral, a análise de rede social mostrou-se uma alternativa apropriada para a investigação das relações de geradas pela plataforma Participa.br, podendo ser aplicada em maior escala para estudos de comunicação científica, assunto de grande interesse para a ciência da informação.

4.1. Limitações

Este estudo foi feito utilizando informações de apenas três consultas públicas o que inviabilizou uma pesquisa mais aprofundada da rede do Participa.br. O volume de dados disponibilizado para análise da pesquisa foi pequeno não permitindo analisar as propriedades estruturais da rede tais como: coeficiente de agrupamento, geodesia espacial, identificação de cliques, distribuição gráfica dos graus. Aliado a isso, o estudo não verificou a rastreabilidade em prováveis decisões finais. Desta forma, o estudo se ateve a responder a pergunta de pesquisa.

4.2. Trabalhos Futuros

Elaborar análise das propriedades estruturais das redes levando em consideração todas as ferramentas de comunicação e interações contidas no ambiente Participa.br, ampliar o escopo de pesquisa considerando características espaciais de cada membro que postar informações na Plataforma, bem como fazer um estudo do comportamento da rede em cada um dos seus ambientes de interação, considerando as vantagens e desvantagens da utilização do ambiente Participa.br.

5. Referências

Brasil, Presidência da República (2013) “Lançamento do novo Portal Brasil”, <http://www.brasil.gov.br/governo/2013/09/dilma-anuncia-reformulacao-do-portal-brasil>, fevereiro.

Brasil (2014) “Portaria nº 36 de 11 de novembro de 2014”, Diário Oficial da União. Brasília - DF, quarta-feira, 12 de novembro de 2014. Disponível em: <http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=12/11/2014&jornal=1&pagina=1&totalArquivos=92>.

- BRASIL (2017) Portal de Participação Social, Consulta Pública ePing versão 2017. Disponível em: <http://www.participa.br/e-ping/consulta-publica-versao-2017/parte-i-visao-geral-da-eping>.
- FAGUNDES, V. (2011) “PDGovTI Modelo de Plano Diretor de Tecnologia da Informação Baseado em Arquitetura Corporativa e Governança de TI em Governo”, Dissertação de Mestrado – Programa de Engenharia de Sistemas e Computação UFRJ.
- MEIRELLES, Paulo R. M. (2014) “Documento com proposta de extensão de ontologia para o Portal de Participação Social, dados de Conferências Nacionais e Conselhos Nacionais, incluindo propostas de articulação entre os dados desses instrumentos”. Disponível em: <http://biblioteca.participa.br/jspui/bitstream/11451/1120/1/PRODUTO%2006%20PRODOC%20PNUD%20-%20ONTOLOGIA%20PARA%20O%20PARTICIPA.BR.pdf>.
- MPOG, Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão (2015a) “Guia de Governança de TIC do SISP MPOG”, Brasília.
- MPOG, Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão (2015b) “Guia de PDTIC do SISP MPOG”, Brasília.
- MPOG, Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. (2010) “Secretaria de Logística e Tecnologia da Informação. Instrução Normativa SLTI nº 4, de 12 de novembro de 2010”. Disponível em: <http://www.comprasgovernamentais.gov.br/paginas/instrucoes-normativas/instrucao-normativa-no-04-de-12-de-novembro-de-2010>.
- TCU, Tribunal de Contas da União (2015) “TC 005.693/2015-2”. Disponível em: www.tcu.gov.br/Consultas/Juris/Docs/judoc/Acord/.../AC_0716_10_16_P.doc.
- SOARES, F. de M. (1997) “Direito Administrativo de Participação (Cidadania, Direito, Estado e Município)”, Belo Horizonte: Del Rey.
- VERGARA, S. C. (2004) “Projetos e relatórios de pesquisa em Administração”, São Paulo: Atlas.

Pesquisando sobre Transparência: Resultados Preliminares de um Mapeamento Sistemático

Elizabeth Suescún Monsalve¹, Julio Cesar Sampaio do Prado Leite²

¹Departamento de Sistemas e Informática – Universidad EAFIT – Carrera 49 # 7 sur - 50, Medellín, Antioquia, Colombia

²Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rua Marquês de São Vicente 225, Ed. Padre Leonel Franca 13o. andar, Rio de Janeiro, Brasil

Esuescul@eafit.edu.co, <http://www-di.inf.puc-rio.br/~julio>

***Abstract.** This paper explores the use of systematic review in the area of transparency, with a particular emphasis on software related transparency. It lays out the overall steps of a systematic review according to the literature, and presents initial results, of an exploratory nature. One of the results so far, is the discovery of the lack secondary studies, which points out to novelty of this presentation.*

***Resumo.** Na Engenharia de Software, nos últimos anos, tem-se observado um crescente interesse em conduzir estudos empíricos que ajudem a entender, sob certas condições, um domínio ou tema de pesquisa. O objetivo deste artigo é apresentar o protocolo seguido no intuito de desenvolver um Estudo de Mapeamento Sistemático para o tema de transparência para trabalhos publicados em Inglês. Além disso, já se apresentam os primeiros resultados da abordagem, que objetiva identificar as pesquisas e os trabalhos que permitem conhecer o que foi publicado sobre esse tema. Como limitações, encontramos que na primeira busca automática identificou-se a falta de estudos secundários no contexto da transparência. Para concluir, acredita-se que no contexto da transparência estudos de mapeamento podem economizar tempo e esforço dos pesquisadores, fornecer orientações, descrever lacunas e ajudar nos novos esforços de pesquisa.*

1. Introdução

Um mapeamento sistêmico de literatura ou Estudos de Mapeamento Sistemático (EMS) como é explicado por Kitchenham e Charters (2007) e Petersen e outros (2008) é um estudo que permite dar uma visão geral de uma área de pesquisa através da classificação e contribuições a partir de estudos primários. Nesse contexto, EMS, um estudo secundário, é o resultado de um mapeamento sistemático, que envolve buscas na literatura para identificar que tópicos têm sido estudados numa área de pesquisa e quais veículos publicam esses estudos primários.

Na engenharia de software os EMS são usados para estruturar áreas de pesquisa. Neste trabalho foram estudadas as abordagens propostas por Kitchenham e Charters (2007) e Levy e Ellis (2006) os quais propõem protocolos para guiar o mapeamento. Para nosso

tópico de interesse não foram encontrados estudos secundários que poderiam complementar o trabalho a expor aqui.

Organizamos o artigo da seguinte maneira: na Seção 2 são apresentados os trabalhos relacionados com estudos empíricos e a motivação. Na Seção 3 é descrito o processo de mapeamento sistemático proposto nesse estudo. Na Seção 4 são apresentados os objetivos e questões de pesquisa. A Seção 5 descreve a estratégia de busca inicial. Finalmente, são apresentados os resultados já alcançados, bem como futuras pesquisas.

2. Trabalhos Relacionados

Ao longo dos últimos anos observa-se que Engenharia de Software (ES) como outras áreas do conhecimento (ex: Ciências Sociais e a Medicina), tem mostrado interesse em conduzir estudos empíricos. Segundo De Almeida Filho (2011) esse tipo estudo tem evidenciado sua relevância para o avanço da ciência e servem como instrumento para o desenvolvimento de uma área que é fortemente dependente das atividades humanas. A motivação para desenvolver estudos empíricos é a identificação de lacunas, as quais são importantes para propor estudos, construir o corpo de conhecimento e apoiar na tomada de decisões por parte de profissionais e pesquisadores.

Kitchenham et al (2005) escreveram que o conceito *prática baseada em evidência* que já era usada na medicina e adaptada em outras disciplinas como a economia, psicologia, e ciências sociais, deveria ser adaptado na ES, para criar a Engenharia de Software Baseada em Evidências (ESBE); para isso deveriam ser usadas as revisões de literatura como uma metodologia para obter resultados empíricos. Os mesmos autores explicam que ESBE deveria aplicar quatro estágios.

Primeiro, construir uma pergunta de pesquisa, segundo, trazer os resultados conforme a pergunta de pesquisa, terceiro, avaliar de forma crítica as evidências, e finalmente, usar a evidência para direcionar a pesquisa. Como foi mencionado EBSE é subjacente a procedimentos de busca de literatura chamados Revisão Sistemática de Literatura (RSL) e Estudos de Mapeamento Sistemático EMS, ambos procedimentos que usam protocolos. No entanto, o primeiro possui uma pergunta específica que direciona o estudo, o segundo, revisa de forma ampla um tópico e classifica os estudos primários para esse domínio específico.

3. O Processo do Mapeamento Sistemático

Para o presente trabalho, limitado a literatura na língua inglesa, foram usadas as diretrizes propostas pelo protocolo para mapeamento sistemático proposto por Petersen e outros (2008), os autores comparam os métodos usados nos mapeamentos sistemáticos (EMS) e nas revisões sistemáticas de literatura (RSL). São propostos cinco estágios para direcionar um EMS, assim: 1. Definir a pergunta de pesquisa; 2. Direcionar os estudos primários, Keele (2007) define como estudos primários (no contexto da engenharia de software baseada em evidência) estudos empíricos que trabalham sobre uma pergunta de pesquisa específica e podem ser do tipo: experimento controlado, estudo de caso, revisão de literatura, etnografia e pesquisa ação; 3. Fazer triagem dos artigos baseados nos critérios de inclusão e de exclusão; 4. Fazer a classificação dos artigos, e finalmente; 5. Extrair e mapear a coleção de dados. Ressaltando, que cada estágio produz um resultado usado como entrada para o seguinte estágio.



Figura 1. Processo de Mapeamento Sistemático

Fonte: Petersen e outros (2008)

4. Questões de Pesquisa

As perguntas de pesquisa foram elaboradas seguindo a abordagem proposta por Basili e outros (2012), conhecida com *Goal-Question-Metrics* (GQM). Essa abordagem do tipo de cima para baixo, tem como objetivo desenvolver métricas significativas através de perguntas. Conforme é descrito por Yang e outros (2014) esta abordagem compreende: 1. O **Objetivo** está no nível conceitual, define o objeto e a variedade de ações, variedade de modelos, pontos de vista, o relativo e o ambiente particular; 2. A **Questão** está no nível operacional, as perguntas são usadas para definir o modelo do objeto de estudo e assim focar esse objeto nas características da avaliação e objetivos específicos a serem atingidos; finalmente, 3. A **Métrica** está no nível quantitativo, nele temos um conjunto de métricas baseadas nos modelos as quais podemos associar a cada questão visando a resposta medível de cada um.

O objetivo de alto nível neste estudo de mapeamento sistemático para transparência é identificar as pesquisas relacionadas, para assim poder responder a pergunta *O que nós sabemos sobre o Tema Transparência?* Para atingir esse objetivo, nós listamos quatro sub-objetivos operacionalizáveis.

G1: Fornecer as informações básicas, delimitar o escopo desde a perspectiva demográfica e permitir identificar as fontes pertinentes sobre informação de pesquisa na área de Transparência.

G2: Ajudar pesquisadores e interessados sobre as propostas a nível de qualidade, validação e processos usados nas abordagens dos autores selecionados.

G3: Identificar que propostas são mais maduras quanto aos resultados alcançados.

G4: Identificar as principais tendências de pesquisa, trabalhos futuros, trabalhos em andamento relacionados a transparência.

As metas acima descritas em conjunto com as justificativas servem de guia nas questões de pesquisa assim: 14 perguntas medíveis e/o respondíveis (RQ) na tabela 1 em conjunto com as motivações Tabela 2. Em conjunto é possível mapear cada meta com a sub-meta e a motivação.

Tabela 1. As perguntas de pesquisa

Questões de Pesquisa	Tipo	Objetivo Relacionado
RQ1: Qual é a distribuição de tempo dos estudos primários? RQ2: Qual é distribuição local dos estudos primários? RQ3: Qual é a distribuição geográfica dos estudos primários? RQ4: Quais são os estudos primários mais citados?	Publicação	G1
RQ5: Existe um consenso sobre a definição de transparência? RQ6: Que processos de Engenharia de Requisitos são usados? RQ7: Que domínios são usados para ilustrar a aplicação do conceito? RQ8: Que atributos de qualidade são propostos?	Conteúdo	G2
RQ9: Quais métodos têm sido aplicados e a rigorosidade a avaliação? RQ10: Que resultados já foram alcançados?	Qualidade	G3
RQ11: Que tópicos podemos obter dos estudos selecionados? RQ12: Que métodos e/ou processos são usados nos tópicos encontrados? RQ13: Qual é a tendência para o tópico de Transparência na última década?	Tópico	G4

Tabela 2. Motivação perguntas de pesquisa

RQ	Motivação
R1	A distribuição do tempo permitirá representar uma tendência macro da literatura ao longo do tempo. Para ilustrar, como o conceito da transparência tem evoluído.
R2	Descobrir os lugares relevantes, como exemplo, as conferências e revistas que contêm a maioria das faixas e tópicos relacionados com o nosso interesse em pesquisa.
R3	A distribuição geográfica apresenta as regiões, os países, as universidades e os equipes de pesquisa que lideram a comunidade relacionadas com transparência e identifica os grupos mais ativos com uma elevada contribuição para esse campo de pesquisa.
R4	Identificar as trabalhos e autores mais citados em tópicos relacionados para transparência
R5	Identificar o tipo de validações usadas para demonstrar as propostas expostas, para ilustrar como foram projetados casos de validação
R6	A engenharia de requisitos foi usada no processo
R7	Áreas do conhecimento ou domínios têm-se beneficiado com as propostas e a aplicação de conceitos de transparência.
R8	Atributos de qualidade foram considerados nas propostas de transparência.
R9	Determinar que estudos têm uma maturidade o suficiente para apresentar estudos estadísticos que respaldem as propostas
R10	Visualizar os domínios ou áreas de conhecimento onde transparência tem sido tratada.
R11	As propostas em transparência apresentam processos e métodos a serem usados
R12	Detectar que métodos ou processos tem sido usados no contexto da transparência ou em áreas de conhecimento afines. Esta questão nos ajudará a identificar quais desses métodos podem ser para trabalhos futuros.
R13	Identificar domínios cujos conceitos de transparência são e podem ser aplicados e assim diversificar o contexto de uso da transparência.

As Métricas da proposta GQM, serão desenvolvidas em trabalhos futuros.

5. Estratégia de Busca com critérios de seleção

5.1. O Quasi Gold Standard

O objetivo do processo de busca é identificar estudos relevantes que tratem as questões de pesquisa acima descritas. A estratégia de busca compreende identificar as fontes de busca e definir os *Strings* de busca. Para o alcance deste trabalho preliminar será explicada a estratégia e se detalhará a busca automática baseada nos itens aqui expostos.

A estratégia de busca é baseada na proposta de a qual descreve aquilo que os autores chamam de *Quasi Gold Standard* QGS. Essa proposta tem como objetivo projetar e executar estratégias para extração de dados com foco em RSL (ver a Figura 2), no entanto, os conceitos propostos podem ser aplicados para EMS. Conforme os autores o *Quasi Gold* é um conjunto conhecido de estudos primários tão fiel quanto possível para aquelas perguntas de pesquisa propostas para direcionar a RLS. Neste contexto, esta abordagem do QGS permite a recuperação e identificação de estudos relevantes em engenharia de software e nosso caso específico: transparência. Segundo esses autores, Zhang et al (2011), um QGS é um conjunto de estudos conhecidos encontrados com

uma pesquisa manual dos locais relacionados (onde foram publicados) para um determinado período de tempo (período). Um QGS pode ser considerado um "padrão-ouro" nas condições em que o período e o local se aplicam.

Continuando com a explicação dos autores, o QGS é útil no sentido de tornar mais objetivo o processo desde a perspectiva do planejamento, teste manuais e *Strings* para extração de dados. A ideia principal é evitar a falta de estudos relevantes na estratégia de busca. Portanto, os resultados das pesquisas manuais e automatizadas são comparados com o QGS para calcular a **Sensibilidade** (Número de estudos relevantes recuperados / Número total de estudos relevantes) *100 e **Precisão** (Número de estudos relevantes recuperados / Número de estudos recuperados) *100 dos resultados da pesquisa. Alta sensibilidade e alta precisão são desejáveis, mas uma alta sensibilidade é mais importante do que alta precisão. A sensibilidade acima de 80% é ideal para melhores resultados, mas os resultados entre 70% e 80% também são aceitáveis de acordo com Zhang et al. (2011).

Adicionalmente, o trabalho aqui apresentado também incorpora uma estratégia de *snowballing* para trás e para a frente (*backward and forward snowballing*) para expandir a cobertura de busca Wohlin (2014). Snowballing faz referência ao uso de listas de referência dos artigos selecionados ou as citações desses artigos. Isso diz que é possível achar ou refinar as buscas com os artigos que estão sendo citados ou identificar novos artigos que estão citando um artigo selecionado.

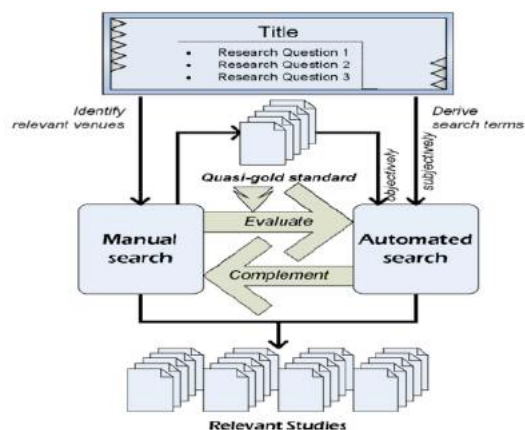


Figura 2. Estratégia de Busca Fonte: Wohlin (2014)

5.2. Critérios de inclusão/exclusão

Nosso objetivo geral é analisar e classificar os trabalhos que abordam o atributo de qualidade Transparência, no contexto de software. Portanto, vamos usar critérios de inclusão e exclusão na seleção de acordo. Primeiramente, será necessário verificar documentos usando os critérios de exclusão. Em seguida, se um artigo cumpre qualquer um dos critérios de exclusão, ele será excluído dos estudos relevantes. Por último, os critérios de inclusão serão aplicados aos restantes artigos.

Critérios de inclusão

CI1. Artigos, capítulos de livros, dissertações, teses e capítulos de livros cujo domínio é ciência da computação, engenharia de software, transparência.

CI 2. Artigos, capítulos de livros, dissertações, teses e capítulos de livros publicados entre janeiro de 1997 e março de 2017.

CI 3. Artigos, capítulos de livros, dissertações, teses e capítulos dos livros que falem de transparência como um atributo de qualidade.

CI 4. Artigos, capítulos de livros, dissertações, teses e capítulos de livros disponíveis em formato eletrônico.

Os critérios de exclusão

EC1. Relatórios técnicos, *posters* ou trabalhos que não foram publicados ainda.

EC2. Artigos que não tem o enfoque da transparência desde a perspectiva do cidadão.

EC3. Artigos que falam de transparência sem que esta tenha aplicação no contexto de software.

EC4. Abordagens sem detalhes sobre como aplicar o conceito da transparência.

5.3. Seleção de documentos

Para selecionar documentos relevantes vamos seguir o processo de triagem ou de seleção descrito na Figura 1 e a continuação se guiará pelo processo descrito na Figura 3. Esse processo tem quatro etapas: uma varredura por título, resumo, por conclusões e finalmente o texto completo. Cada varredura usa os critérios de inclusão e exclusão definidos acima. Será importante realizar todas as etapas e verificar os resultados obtidos.



Figura 3. Processo de Seleção

- Fase 1: nessa primeira parte é possível analisar o título do artigo e as palavras-chave, com o objetivo de eliminar aqueles artigos irrelevantes. Todos aqueles artigos que sejam considerados que deve ser incluído devem permanecer no conjunto de documentos candidatos para a Fase 2.

- Fase 2: é necessário olhar e ler os resumos dos trabalhos candidatos da fase 1 e avaliar cada artigo com critérios de inclusão/exclusão. Todos aqueles artigos que sejam considerados que deve ser incluído e devem permanecer no conjunto de documentos candidatos para a Fase 3.

Fase 3: é necessário olhar e ler as conclusões dos trabalhos candidatos da fase 2 e avaliar cada artigo com critérios de inclusão/exclusão. Todos aqueles artigos que sejam considerados que deve ser incluído e devem permanecer no conjunto de documentos candidatos para a Fase 4.

- Fase 4: vamos ler os textos completos candidatos da Fase 3 e avaliar cada artigo com os critérios de inclusão/exclusão. Qualquer artigo que achemos que devem ser incluídos

ou excluídos permanece no conjunto de estudos primários/secundários ou o conjunto de documentos excluídos.

5.4. Artigos duplicados, estudos repetidos e estudos secundários

Artigos duplicados são os mesmos artigos que retornam por diferentes estratégias de busca. Estudos duplicados são aqueles trabalhos sobre o mesmo tópico e que são publicados em diferentes veículos. Dessa maneira, excluem-se os artigos duplicados e os estudos repetidos. Por último, RSL ou EMS não estão incluídos em estudos relevantes. No entanto, eles são recuperados para validar o processo de pesquisa, através da comparação com os estudos primários incluídos. Importante ressaltar que esses estudos secundários são relevantes para a seção de trabalhos relacionados do relatório final do EMS em construção.

5.5. Busca Automática

5.5.1 Motores de busca e bibliotecas digitais

Para refinar a proposta aqui apresentada e passar para a segunda fase do trabalho, isto é a busca manual utilizamos uma busca automática inicial. Essa busca inicial contou com a ajuda do *Descubridor* da Universidade EAFIT (2017) e as bibliotecas digitais que ele agrupa. A Biblioteca da Universidade EAFIT oferece o serviço dessa busca automática inicial (Serviço de Buscas Universidade EAFIT). Para uso desse serviço descreve-se o propósito da busca, o *String* explicitado e participa-se de uma entrevista que visa definir o escopo e resumir o objetivo a ser alcançado. Com base nisso, o pessoal da Biblioteca realizou a primeira rodada com o *String* de busca proposto, que foi executado em: ACM Digital Library, British Standards Online, Directory of Open Access Journals, EBSCO Host, Emerald, IEEE Computer, Society Digital Library, ISI Web of Science, ProQuest, Safari entre outros. Adicionalmente, foram usados o Repositório da CEPAL e o Google Scholar. É importante ressaltar que o resultado dessa primeira rodada está supeditado ao entendimento que o pessoal da Biblioteca teve sobre o tópico de interesse.

5.5.2 *Strings* de Busca

O PICO (População, Intervenção, Comparação e Resultados) sugerido por Kitchenham e Charters (2077) tem como objetivo identificar palavras-chave e formular *Strings* de busca a partir de perguntas de pesquisa. A estratégia resumida na Figura 4 tem como objetivo identificar sinônimos, usar conectores do tipo OR, AND e outros. Nosso objetivo demanda uma buscas pilotos para refinar a proposta e achar estudos primários já conhecidos. Para obter esses primeiros trabalhos, a busca abarca só literatura em inglês.

Como resultado da estratégia supracitada foi definida a seguinte *String* de busca:

(Transparency AND Software) OR (Transparency AND Organizational) OR (Transparency AND Process) OR (Transparency AND Open Data) OR (Transparency AND Access)

A estratégia adotada para realizar um SMS para transparência segue as propostas do Zhang et al. (2011) e Wohlin (2014), a proposta é de realizar um processo iterativo descrito a partir da Figura 2, o QGS (*Quasi Gold Standard*) e o *backward and forward*

snowballing, porém o *String* acima descrito deve ser refinado conforme estas duas estratégias e as iterações necessárias até achar os artigos que efetivamente respondam as perguntas de pesquisa inicialmente propostas, ou seja, até achar o *Quasi Gold Standard*.

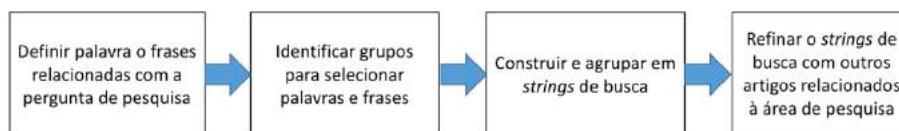


Figura 4. Processo de Seleção do *String* de Busca

6 Resultados já Alcançados

Na Tabela 3 são mostrados os resultados preliminares produzidos pela Biblioteca EAFIT com o *String* de busca acima descrito. Foram achados 36 artigos, dos quais foi aplicado o critério de exclusão por título e são apresentados na Tabela 3, 29 artigos.

Desse primeiro piloto foi identificado que não existe estudos secundários nem do tipo RSL ou EMS no contexto da Transparência ou mais especificamente Transparência de Software. Porém é necessário para a construção do conhecimento usar este tipo de estudos baseado em evidências, mapas e trabalhos que permitam identificar de forma agrupada o que foi feito ou quais são os desertos ou oportunidades de pesquisa para direcionar trabalhos presentes e futuros na área.

Acreditamos que os artigos achados servem como ponto de partida para realizar a busca manual sugerida por Zhang et al. (2011), o piloto também segue as sugestões propostas por Wohlin (2014), que propõe o uso do Google Scholar, por exemplo, para identificar artigos base. Isso evita distorcer a favor de qualquer autor. Wohlin também recomenda: usar artigos relevantes de diferentes comunidades; o número de artigos no início deve ser pequeno, aumentar e depois ir para o um foco mais específico. Além disso, sugere que desses artigos inicialmente identificados pode-se obter os termos de pesquisa para refinar a própria, e assim evitar se guiar unicamente o uso da própria terminologia e abranger mais trabalhos, bases de dados, autores, anos, entre outros. Em uma palavra obter mais diversidade.

6.1 Discussão sobre os artigos achados:

Por questões de espaço e do alcance desse trabalho não serão analisadas uma a uma as perguntas de pesquisa propostas para o EMS e que fazem parte do trabalho futuro descrito a seguir.

Essa primeira aproximação nos leva a utilização da definição de transparência fornecida pela Infopedia:¹ “diz-se de um termo, de um contexto ou de um discurso que não é opaco, que se percebe facilmente; evidente, claro e que revela claramente a sua natureza; inequívoco”. Inspirados nessa definição os autores concordam em dizer que a transparência está ligada a algo suficientemente aberto para permitir que **coisas** sejam observadas em profundidade, através dela e por diferentes óticas. Quando é detalhado esse elemento a ser observado geralmente faz referência à informação, aquela que deve informar sobre se mesma, como ela trabalha e seu *rationale*. Em outras palavras a

¹ <https://www.infopedia.pt/dicionarios/lingua-portuguesa/Transparente>

definição de transparência é apresentada e proposta para levar em conta a dinâmica da produção de informação e as diferenças entre dados e informações. A transparência visa reduzir ou eliminar os obstáculos relacionados com a falta de visibilidade ou opacidade, acessibilidade e entendimento da informação. Porém, quando a informação é transparente ela deve ter significado, ser verídica, e compreensível.

Então, como é produzida, elaborada e interpretada e para quem é certa informação? A resposta a essas questões envolve o processo, o software e o cidadão. O primeiro, relacionado a como a informação está sendo produzida, o software como o artefato ubíquo, que deve tirar o véu, que automatiza o processo e disponibiliza a informação para o cidadão, esse último usará o software para se informar, avaliar e demandar seus direitos/ tomar decisões face à informação revelada.

Tabela 3. Motivação perguntas de pesquisa

Num	Autores e ano	Artigo
1	Bertot, J. C., Jaeger, P. T., & Grimes, J. M. (2010)	Using ICTs to create a culture of transparency: E-government and social media as openness and anti-corruption tools for societies.
2	Cappelli, C. (1), & Leite, J. C. S. D. P. (2010)	Software transparency
3	Čyřas, V. (1), & Lachmayer, F. (2), (2014)	Compliance and software transparency for the design of legal machines 275
4	Dabbish, L., Stuart, C., Tsay, J., & Herbsleb, J. (2013)	Leveraging Transparency
5	De Castro Leal 2), A. L. (1), Sousa, H. P. (1), & Do Prado Leite, J. C. S. (1). (2013)	Monitoring challenges of non-functional requirements: Evaluation in software transparency
6	do Prado Leite, J. C. S., & Cappelli, C. (2008)	Exploring i* Characteristics that Support Software Transparency
7	Goëta, S., & Davies, T. (2016)	The Daily Shaping of State Transparency: Standards, Machine-Readability and the Configuration of Open Government Data Policies
8	Hase, K.-R. (2011)	"Open Proof" for railway safety software - A potential way-out of vendor lock-in advancing to standardization, transparency, and software security.
9	Hoepman, J.-H., & Jacobs, B. (2007)	Increased security Through Open Source
10	Hosseini, M., Shahri, A., Phalp, K., & Ali, R. (2016)	Foundations for transparency requirements engineering.
11	Jansen, S. (1), Brinkkemper, S. (1), & Finkelstein, A. (2). (2007)	Providing transparency in the business of software: A modeling technique for software supply networks.
12	Javadi, M. H. M. (1), Mehrabi, J. (2), Beedel, M. (3), & Tanhaei, M. H. (4). (2012)	Effect of information systems and accounting softwares on transparency of financial statement information (FSI)
13	José Albuquerque, D., Tavares Nunes, V., Ghedini Ralha, C., & Cappelli, C. (2017)	E-gov Transparency Implementation Using Multi-agent System: a Brazilian Study-Case in Lawsuit Distribution Process.
14	Machill, M., Neuberger, C., & Schindler, F. (2003)	Transparency on the Net: Functions and Deficiencies of Internet Search Engines.
15	Martinez-Moyano, I. J. (2012)	Documentation for model transparency.
16	Melo, C. de O., Ferraz, R., & Parsons, R. J. (2016)	Brazil and the Emerging Future of Software Engineering.
17	Meunier, P. (2008)	Software Transparency and Purity
18	Michener, G., & Bersch, K. (2011)	Conceptualizing the quality of transparency
19	Miller MN, D. (Minneapolis, Magnuson AZ), R. R. (Scottsdale, Barton NM), B. J. (Albuquerque, & Shao AZ), Q. G. (Oro V. (2011).	Two dimensional location transparency of software services.
20	Pfleeger, C. P. (2016)	Looking into Software Transparency
21	Powell, A. (2012)	Democratizing production through open source knowledge: from open software to open hardware.
22	Reinhardt, W., & Rinne, S. (2010a).	An Architecture to Support Learning, Awareness, and Transparency in Social Software Engineering.
23	Rhod, E. L., Lisboa, C. A. L., Carro, L., Reorda, M. S., & Violante, M. (n.d.).	Hardware and software transparency in the protection of programs against SEUs and SETs.
24	Rojas, L. A. R., Lovelle, J. M. C., Bermúdez, G. M. T., & Marín, C. E. M. (2013)	Open Data as a key factor for developing expert systems: a perspective from Spain.
25	Serrano, M., & do Prado Leite, J. C. S. (2011).	Capturing transparency-related requirements patterns through argumentation.
26	Shall, F., Carleton, A., Carriere, J., Prikładnicki, R., & Zhang, D. (2016)	The Future of Software Engineering.
27	Tu, Y.-C., Tempero, E., & Thomborson, C. (2016).	An experiment on the impact of transparency on the effectiveness of requirements documents
28	Tu, Y.-C., Thomborson, C., & Tempero, E. (2011).	Illusions and perceptions of transparency in software engineering
29	Zinovatna, O., & Cysneiros, L. M. (2015).	Reusing knowledge on delivering privacy and transparency together

6.2 Trabalho Futuro:

Segundo o proposto de Kitchenham e Charters (2007) é necessário usar *Strings* de busca como ponto de partida. Porém buscas complementares são necessárias, por exemplo: listas de referência, literatura cinzenta, lugares de pesquisa específicos (revistas ou conferências) e pesquisadores da área. Os autores ressaltam que, infelizmente, a maioria de RLS ou EMS deixam de considerar buscas complementares.

É um desafio realizar a busca manual, dada a quantidade de trabalho que deve ser realizado. No entanto, acreditamos que é importante avaliar o uso e levantar as oportunidades de trabalho relacionadas a transparência.

Visando levantar essas oportunidades foram identificadas as seguintes tarefas: i) aumentar a robustez do trabalho realizando a busca manual; ii) realizar buscas das referências bibliográficas declaradas nos estudos primários; iii) verificar pontualmente a

falta de guias e estudos empíricos do tipo RLS e EMS no âmbito da transparência; iv) estender o protocolo a outros pesquisadores bem como a diferentes a novos engenhos de busca, na transparência; v) ampliar a busca manual a novas conferências e periódicos; vi) pesquisar a literatura em Espanhol e Português.

Apresentamos as primeiras evidências do uso do protocolo guia para realizar um EMS apropriado para pesquisadores de engenharia de software, que tenham interesse no tópico da transparência. A motivação principal é que o EMS serve como meio de avaliar e interpretar as pesquisas disponíveis relevantes para uma pergunta de pesquisa. Um EMS para transparência nos levaria a sintetizar a evidência através da construção do conhecimento dada pela combinação dos estudos primários achados. O protocolo usado visa apresentar uma avaliação usando um método já estabelecido e auditável, ajudando pesquisadores chegarem a uma compreensão conjunta do estado da transparência de software como área de pesquisa.

Referências

- Basili, V. R., Caldiera, G., and Rombach, H. D. (2012). The goal question metric approach, 1994. Citado, 3, 11.
- Basili, V. R., Selby, R. W., and Hutchens, D. H. (1986). "Experimentation in software engineering". *IEEE Transactions on software engineering*, (7), 733-743.
- De Almeida Filho, A, T (2011). Um Mapeamento Sistemático de Mecanismos para Guiar Estudos Empíricos em Engenharia de Software. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.
- Descubridor Universidad EAFIT (2017). <http://www.eafit.edu.co/biblioteca3/recursos-electronicos/bases-datos/Paginas/descubridor.aspx#.WMG1OhhDmHo> ultimo acceso 9 de março 2017.
- Keele, S. (2007). Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering. In Technical report, Ver. 2.3 EBSE Technical Report. EBSE. sn.
- Kitchenham B. and Charters S. (2007) "Guidelines for Performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering", Tech. rep., Technical report, EBSE Technical Report EBSE-2007-01.
- Kitchenham, B. A., Dyba, T., and Jorgensen, M. (2004). "Evidence-based software engineering". In *Proceedings of the 26th international conference on software engineering* (pp. 273-281). IEEE Computer Society.
- Levy, Y., and Ellis, T. J. (2006). "A systems approach to conduct an effective literature review in support of information systems research". *Informing Science: International Journal of an Emerging Transdiscipline*, 9(1), 181-212.
- Moura M (2008). Um benchmarking framework para avaliação da manutenibilidade de software orientado a aspectos. Master's thesis, University of Pernambuco, Recife, PE, Brasil. 1.1, 1.2.1, 2.2, 3.2.
- Petersen, K., Feldt, R., Mujtaba, S., and Mattsson, M. (2008). "Systematic Mapping Studies in Software Engineering". In *EASE* (Vol. 8, pp. 68-77).
- Serviço de Buscas Universidade EAFIT (2017), <http://www.eafit.edu.co/biblioteca/servicios/Paginas/busquedas-bibliograficas.aspx>, último acesso 3 de maio de 17.
- Wohlin, C. (2014). "Guidelines for snowballing in systematic literature studies and a replication in software engineering". In *Proceedings of the 18th international conference on evaluation and assessment in software engineering* (p. 38). ACM.
- Yang, Z., Li, Z., Jin, Z., and Chen, Y. (2014). "A systematic literature review of requirements modeling and analysis for self-adaptive systems". In *International Working Conference on Requirements Engineering: Foundation for Software Quality* (pp. 55-71). Springer International Publishing.
- Zhang, H., Babar, M. A., and Tell, P. (2011). "Identifying relevant studies in software engineering. *Information and Software Technology*", 53(6), 625-637.

Combate à corrupção através de relacionamentos interorganizacionais transparentes

Bruna Diirr¹, Claudia Cappelli¹

¹Programa de Pós-Graduação em Informática – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (UNIRIO)
Rio de Janeiro – RJ – Brasil

{bruna.diirr,claudia.cappelli}@uniriotec.br

***Abstract.** Organizations increasingly need to establish partnerships to face environment changes and remain competitive. Resources sharing enables them to better handle the identified opportunity for joint work. Such associations are also found at governmental level. However, the interorganizational relationships management faces many challenges. This paper aims to explore this topic, especially regarding public transparency. It is proposed an approach that intends to make partner organizations more integrated, prepared to interoperate processes and information and able to achieve shared goals even with existing differences. An anti-corruption partnership illustrates the approach application.*

***Resumo.** Cada vez mais, as organizações precisam estabelecer parcerias para enfrentarem mudanças no ambiente em que atuam e permanecerem competitivas. O compartilhamento de recursos permite que essas organizações lidem melhor com a oportunidade identificada para colaboração. Tais associações também estão presentes no âmbito governamental. Porém, a gestão de relacionamentos interorganizacionais apresenta muitos desafios. Este artigo tem como objetivo explorar esse assunto, especialmente no que diz respeito à transparência pública. É apresentada uma abordagem que visa tornar as organizações parceiras mais integradas, preparadas para interoperar processos e informações e com habilidades para alcançar objetivos compartilhados mesmo com as diferenças existentes. Uma parceria para combate à corrupção ilustra a aplicação da abordagem.*

1. Introdução

Transformações na economia, globalização, inovações tecnológicas, rápida difusão da informação, demandas para redução do tempo e custo do ciclo de desenvolvimento, e necessidade de fornecer mais transparência a processos e informações existentes, levaram à mudança e adaptação das organizações para continuarem competitivas. Uma nova abordagem das organizações tem sido investir no estabelecimento de parcerias com outras organizações, rivais ou operando em segmento distinto aos seus, para enfrentar um ambiente cada vez mais dinâmico, imprevisível, altamente competitivo e desafiador [Corso e Fossá 2009][Fusco 2005][Mueller et al 2013][Ranaei et al 2010][Van Fenema et al 2014]. Em geral, essas organizações selecionam um tipo específico de relacionamento, como alianças, redes, *joint ventures*, terceirizações etc.,

levando em consideração a oportunidade identificada para o trabalho conjunto, interesses comuns, confiança decorrente da transparência existente entre os envolvidos, realidade enfrentada, estrutura existente e acordos estabelecidos, de forma a colaborar para alcançar um objetivo comum. Esta colaboração permite que as organizações tenham acesso a um leque mais amplo de ferramentas do que as que elas próprias possuem, respondam mais rapidamente aos desafios do mercado através da complementação de competências existentes e compartilhem os resultados alcançados através da parceria [Corso e Fossá 2009][Del-Río-Ortega et al 2015][Fusco 2005][Khalfallah 2013][Ranaei et al 2010][Sebu e Ciocârlie 2015][Van Fenema et al 2014].

Esse investimento em relacionamentos interorganizacionais não está restrito às organizações que visam se manter competitivas em um ambiente cada vez mais desafiador. É algo que também ocorre no âmbito governamental. Em várias ações brasileiras anticorrupção [El País 2016][Estadão 2017][G1 2016][Polícia Federal 2017], é possível notar a articulação de diferentes agências governamentais. Por serem responsáveis por alguns aspectos da investigação, seja em termos de alçada de atuação ou de acesso à informação requerida, elas precisam colaborar para que os envolvidos sejam identificados e punidos.

Contudo, apesar de todos os benefícios obtidos com os relacionamentos interorganizacionais, essa nova dinâmica de atuação estimula a interação de organizações com diferentes características, culturas e valores. Isso aumenta a probabilidade de serem enfrentados mal-entendidos e conflitos, influenciando assim o alinhamento da atuação desses parceiros. As organizações parceiras precisam desenvolver habilidades para trabalharem nessa nova dinâmica, identificando, integrando e gerenciando todos os elementos compartilhados de forma a garantir que eles favoreçam a execução das atividades que apoiam a integração da estratégia do grupo e permitam atingir seus objetivos. Se não for possível estabelecer um meio-termo entre a variedade de dinâmicas existentes, o relacionamento interorganizacional pode fracassar e até levar à dissolução da parceria estabelecida [Bocanegra et al 2011][Corso e Fossá 2009][Pedroso 2009][Sebu e Ciocârlie 2015][Van Fenema et al 2014][Zhu e Huang 2007].

O presente artigo visa explorar o desafio de gerir relacionamentos interorganizacionais, especialmente os desafios relacionados à transparência pública. Para isso, é detalhada uma abordagem baseada em objetivos compartilhados. Argumenta-se que, assim, as organizações envolvidas estão mais integradas, transparentes, preparadas para interoperar seus processos e informações e capazes de agir e alcançar um objetivo compartilhado mesmo com as diferenças existentes. Essa abordagem é aplicada a uma parceria formada para combate à corrupção e criticada de forma a guiar o trabalho futuro.

O artigo está organizado da seguinte forma: a seção 2 caracteriza a dinâmica de combate à corrupção, discutindo também artigos relacionados à gestão de relacionamentos interorganizacionais. A seção 3 descreve a abordagem proposta para gestão de relacionamentos interorganizacionais, discutindo a importância da transparência durante essa gestão. A seção 4 ilustra a aplicação da abordagem em uma parceria governamental para combate à corrupção. Por fim, na seção 5, são expostas as conclusões obtidas com o desenvolvimento deste trabalho.

2. Relacionamentos interorganizacionais para combate à corrupção

De acordo com recente avaliação, a organização *Transparency International* (2017) afirma que a corrupção continua a ser uma “praga” em todo o mundo, tornando evidente que a sociedade já não tolera mais estas ações e demanda que o problema seja enfrentado. O Brasil não aparece bem neste cenário, obtendo 40 pontos (de 0, altamente corrupto, a 100, muito limpo) e ocupando assim o 79º lugar de 176 países avaliados. Esta organização ainda afirma que os países com melhor desempenho compartilham características chave como acesso à informação e participação do cidadão. O acesso à informação permite criar uma sociedade democrática com cidadãos participativos, fornecendo-lhes ferramentas para compreender e utilizar a informação e estimulando um pensamento crítico sobre as informações e serviços prestados. A Lei de Acesso à Informação [Brasil 2009][Brasil 2011] tem incentivado a transparência ativa, o que propiciou uma maior disponibilidade de informação sobre as organizações públicas em seus sites institucionais. Essa disponibilização de informações possibilita a identificação de casos de corrupção pela própria Sociedade, como o caso mais recente envolvendo desvios de bolsas da UFPR [Gazeta do Povo 2017].

O combate à corrupção, muitas vezes, demanda articulação de diferentes agências governamentais. Por serem responsáveis por determinados aspectos da investigação, elas precisam colaborar para que os envolvidos sejam identificados e punidos. Assim, essas agências podem compartilhar recursos humanos e financeiros, sistemas, equipamentos, processos e informações existentes, fazendo com que elas tenham acesso a maior ferramental com custo mais favorável do que conseguiriam sozinhas. Elas também conseguem organizar informações que muitas vezes são relacionadas, mas como cada informação reside em uma agência diferente, ficam espalhadas em bases de dados isoladas. Além disso, elas conseguem responder aos desafios identificados mais rapidamente devido à complementação das habilidades existentes [Corso e Fossá 2009][Ranaei et al 2010].

Porém, tais agências precisam estar preparadas para enfrentar uma nova dinâmica de trabalho. Ao atuarem sozinhas, cada agência somente precisa gerir seu pessoal, processos, informações, sistemas, equipamentos e recursos financeiros para atingir os objetivos. O estabelecimento de relacionamentos interorganizacionais estimula a interação de pessoas com diferentes características, culturas e valores, influenciando assim o alinhamento da atuação das agências envolvidas [Corso e Fossá 2009][Zhu e Huang 2007]. Isso aumenta a probabilidade de serem enfrentados mal-entendidos e conflitos, uma vez que as agências possuem distintas formas de planejamento, tomadas de decisão, alocação de recursos e definição de processos e informações. Se não for possível estabelecer um meio-termo entre a variedade de dinâmicas existentes, com envolvidos enfrentando problemas no relacionamento e surgimento de conflitos, o relacionamento interorganizacional pode fracassar, levando a um enorme prejuízo para a Sociedade [Corso e Fossá 2009][Sebu e Ciocârlie 2015].

Dessa forma, para um trabalho conjunto eficaz, assegurando que os elementos existentes favoreçam a execução de atividades que apoiem o combate à corrupção, é necessário minimizar as diferenças de pensamentos e estilos de trabalho. As agências parceiras precisam identificar, integrar e gerir todos os elementos que compartilham, desenvolvendo habilidades que permitam lidar com as diferenças existentes de modo

que o trabalho conjunto seja eficaz, os objetivos compartilhados sejam alcançados e o relacionamento possa ser considerado de sucesso [Bocanegra et al 2011][Corso e Fossá 2009][Denis et al 2017][Pedroso 2009][Zhu e Huang 2007]. Contudo, fazer com que agências estejam integradas e tenham habilidades para conviver com diferenças não é uma tarefa trivial. São necessários métodos, técnicas e ferramentas adequadas a isso.

Autores argumentam que os membros das organizações são considerados elementos chave para o alinhamento interorganizacional, sendo preciso estimular seu comprometimento com os objetivos compartilhados, conscientização das diferenças e aprendizado sobre o comportamento em uma dinâmica organizacional nova, de forma a garantir a efetividade do trabalho conjunto [Bocanegra et al 2011][Corso e Fossá 2009][Pedroso 2009][Zhu e Huang 2007]. A Arquitetura Empresarial é outro aspecto importante, com as organizações parceiras precisando explicitar como organizar o fluxo de informações, facilitar a troca de conhecimento e manter direitos sobre propriedade intelectual, de forma a entender como cada uma delas pode melhor contribuir para a parceria, definir acordos para utilização dos recursos disponíveis e melhor integrar os mesmos [Choi e Kröschel 2015][Drews e Schirmer 2014][Mueller et al 2013][Nunes et al 2016]. A compreensão do que se quer alcançar com o relacionamento interorganizacional e o que se pode fazer também é necessária, com demandas de melhoria e extensão das metodologias para modelagem do negócio e dos objetivos compartilhados de forma a lidar com a complexidade e particularidades dos relacionamentos interorganizacionais [Bouchbout e Alimazighi 2011][Lawall et al 2014][Sebu e Ciocârlie 2015]. Além disso, é necessário refletir sobre os sistemas adotados pelas organizações participantes (Sistemas de Informação Interorganizacionais) para que eles apoiem a parceria, não sejam impactados pelas diferenças existentes e estejam alinhados com a estratégia de negócio [Hsu et al 2015][Kauremaa e Tanskanen 2016][Sun e Yu 2011].

Embora descrevam propostas que poderiam ajudar as organizações envolvidas em parcerias, os estudos citados estão interessados somente em algum aspecto da gestão de relacionamentos interorganizacionais, negligenciando também o aspecto de transparência. As organizações parceiras precisam desenvolver habilidades para trabalharem nessa nova dinâmica, identificando, integrando e gerindo todos os elementos compartilhados de forma a garantir que eles favoreçam a execução de atividades que apoiam a integração da estratégia de grupo e alcance dos objetivos compartilhados. Mecanismos que tornem as organizações envolvidas mais integradas, transparentes, preparadas para interoperar seus processos e informações e capazes de agir e alcançar os objetivos compartilhados ainda se fazem necessários.

3. Gestão de relacionamentos interorganizacionais baseada em objetivos compartilhados

A abordagem proposta para gestão de relacionamentos interorganizacionais utiliza os objetivos compartilhados para a integração das organizações parceiras (Figura 1). Argumenta-se que o objetivo é elemento comum entre as organizações que se tornam parceiras, sendo possível elencar os demais aspectos necessários à parceria a partir dele.

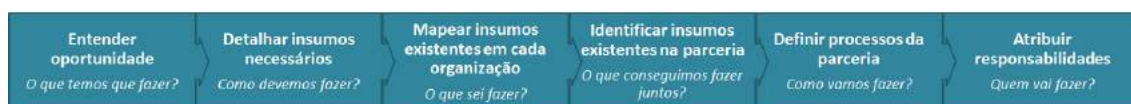


Figura 1. Abordagem para gestão de relacionamentos interorganizacionais baseada em objetivos compartilhados

Assim, primeiramente é necessário entender a oportunidade que gerou a atuação conjunta das organizações, determinando o objetivo compartilhado entre elas. É importante destacar que tal objetivo pode ser desafiador e complexo, sendo necessário detalhá-lo em diferentes subobjetivos e explicitar a relação entre eles. A partir disso, é possível detalhar como a atuação da parceria precisa ocorrer. Isso envolve a identificação de processos, papéis, informações, sistemas, equipamentos e habilidades necessários, considerando as regras que os delimitam (Figura 2).

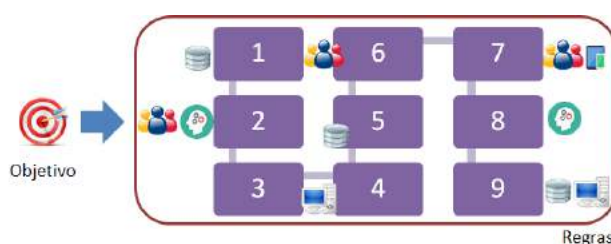


Figura 2. Insumos necessários para atingir o objetivo compartilhado

O próximo passo é mapear o que cada integrante da parceria pode fornecer para atingir o objetivo compartilhado. Isso envolve a (a) caracterização de cultura, (b) identificação de habilidades existentes e (c) identificação de processos, informações, sistemas, tecnologia e recursos financeiros de cada uma das organizações envolvidas. A Figura 3 apresenta como cada organização poderia apoiar o mapeamento apresentado na Figura 2.

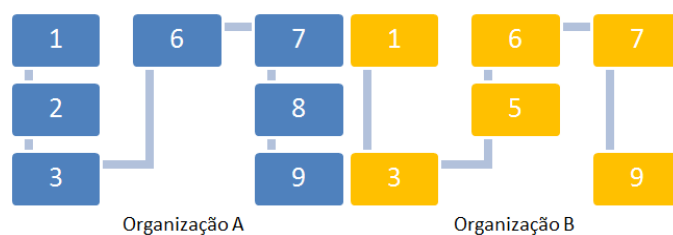


Figura 3. Insumos disponíveis nas organizações

Conhecendo as organizações participantes, é possível identificar os insumos existentes na parceria (Figura 4). Isso é possível através do cruzamento entre o mapeamento de cada uma das organizações parceiras (Figura 3) e o detalhamento de como a atuação dessas organizações precisa ocorrer para atingir o objetivo compartilhado (Figura 2). Os processos da parceria também devem ser definidos. Caso a parceria não possua algum dos insumos necessários e de acordo com os aspectos relacionados, é necessário: (a) processo: buscar outra organização para participar da parceria, buscar capacitação externa, desenvolver o processo requerido ou mesmo substituir tal processo; (b) pessoal: contratar pessoal ou capacitar pessoal não envolvido; (c) sistema: adquirir ou desenvolver sistema; (d) informação: gerar informação ou buscar informação externamente; (e) tecnologia: adquirir ou alugar equipamento.



Figura 4. Insumos disponíveis na parceria

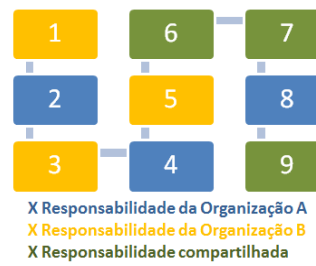


Figura 5. Atribuição de responsabilidades

Por fim, a responsabilidade de cada organização envolvida na parceria é atribuída (Figura 5), identificando o que é de responsabilidade de cada parceiro e o que está sob responsabilidade compartilhada. Negociações devem existir quando mais de um parceiro for capaz de fornecer um mesmo insumo. Para atividades compartilhadas, será preciso integrar culturas, processos e informações.

Argumenta-se que tal abordagem permite que as organizações envolvidas se tornem mais integradas, preparadas para interoperar seus processos e informações e capazes de agir e alcançar os objetivos compartilhados. Quando aplicada no âmbito governamental, também poderia prover transparência organizacional, adicionando valores sociais relacionados com características como auditabilidade, acessibilidade, compreensão, clareza, confiabilidade etc. [Cappelli et al 2014][Denis et al 2017].

4. Aplicação da abordagem no combate à corrupção

Muito se tem noticiado sobre a atuação da Polícia Federal em investigações de combate à corrupção [Polícia Federal 2017]. Ela é a responsável por investigar atos criminais contra a ordem política e social ou em detrimento de interesses do governo federal, bem como infrações com repercussões interestaduais ou internacionais. De acordo com o rumo da investigação, faz-se necessária sua associação com outras agências governamentais. Em relação à apropriação indevida de dinheiro público, a Receita Federal deve ser envolvida. Esta agência é responsável pela administração de impostos federais, combate à evasão fiscal e atos ilegais relacionados ao comércio internacional (contrabando, pirataria, tráfico etc.).

Dado este contexto, o primeiro passo para a aplicação da abordagem proposta é entender a oportunidade que gerou a colaboração das agências. Assim, o objetivo compartilhado é combater a corrupção, identificando, investigando e punindo pessoas e/ou organizações que se apropriaram indevidamente de dinheiro público. A partir dele, os insumos para a operação da parceria são detalhados. Durante o combate à corrupção, agentes da Polícia Federal e da Receita Federal realizam um conjunto de atividades que requerem informações, capturadas da base de dados da Polícia Federal, declaração de imposto de renda, operações bancárias, escutas telefônicas autorizadas, ordens judiciais etc.; uso de sistemas da Polícia Federal e da Receita Federal; equipamentos como veículos, armas etc.; e deve seguir as regras definidas nas leis brasileiras (Figura 6).



Figura 6. Insumos necessários para o combate à corrupção

A partir desse detalhamento, é possível mapear o que Polícia Federal e Receita Federal podem prover ao combate à corrupção, sendo possível identificar os insumos disponíveis nessa parceria (Figura 7). Por exemplo, a Polícia Federal (azul) pode fornecer agentes, informações extraídas de sua base de dados e escutas telefônicas autorizadas, sistemas existentes, veículos e armas. Já a Receita Federal (amarelo) pode fornecer agentes, informações do imposto de renda, sistemas existentes e veículos. Porém, essas agências não podem fornecer alguns dos insumos necessários (vermelho), como operações bancárias e ordens judiciais. Assim, é necessário obter essas informações externamente junto a agências financeiras e Justiça, respectivamente.



Figura 7. Insumos disponíveis na parceria para o combate à corrupção

Por fim, é necessário atribuir responsabilidades às agências envolvidas (Figura 8). Considerando a natureza das atividades, a Receita Federal será responsável pela verificação da irregularidade, uma vez que esta agência administra os impostos federais. Já a Polícia Federal será responsável pela execução da operação, pois possui em suas atribuições o cumprimento de ordens judiciais, e envio de informações à Justiça. Ambas agências serão responsáveis pela identificação de irregularidades, seja por investigação interna ou denúncias da Sociedade, além do planejamento da operação.



Figura 8. Atribuição de responsabilidades para o combate à corrupção

5. Conclusão

A necessidade de continuarem competitivas em um ambiente cada vez mais dinâmico, imprevisível e desafiador leva as organizações a estabelecerem parcerias para combinar recursos, conhecimento e poder em benefício das organizações participantes. Tal necessidade também cresce cada vez mais no âmbito governamental, com diferentes agências interagindo em prol dos interesses da Sociedade. Contudo, se torna um desafio fazer com que distintas organizações se integrem e trabalhem em uma dinâmica nova, garantindo assim que o trabalho conjunto seja eficaz e bem-sucedido.

Este artigo explorou o desafio de gerir relacionamentos interorganizacionais, especialmente os desafios relacionados à transparência pública. Para isso, descreveu uma abordagem de apoio à gestão de relacionamentos interorganizacionais orientada aos objetivos compartilhados. Argumenta-se que essa abordagem torna as organizações parceiras mais integradas, transparentes, preparadas para interoperar seus processos e informações e capazes de agir e alcançar objetivos mesmo com as diferenças existentes.

A parceria entre agências para combate à corrupção ilustrou a aplicação da abordagem. Ele permitiu explorar a gestão de relacionamentos interorganizacionais, além de oferecer uma possibilidade para diferentes agências planejarem e organizarem seu trabalho conjunto para alcançar um objetivo compartilhado de forma transparente.

Contudo, é importante destacar alguns desafios que ainda precisam ser superados. O primeiro deles diz respeito ao detalhamento do objetivo. A descrição do objetivo compartilhado, além dos subobjetivos decorrentes dele, pode não ser tão clara para os parceiros. Também é possível lidar com parceiros que, apesar de saberem atuar em dadas circunstâncias, podem não ter processos internos descritos de uma forma estruturada. Além disso, as organizações podem ter dificuldades em fornecer os insumos inexistentes na parceria porque não conseguem identificar uma forma de fazer isso. Finalmente, a negociação para atribuição de responsabilidades pode ser árdua.

Como trabalhos futuros, a especificação de um protótipo de apoio à abordagem está em desenvolvimento. Além disso, visa-se avaliar a abordagem proposta em um cenário real, além de aplicá-la em outros domínios que não o governamental. Argumenta-se que os resultados obtidos fornecerão insumos para uma melhor compreensão do impacto da aplicação da abordagem e ajudarão na sua melhoria e evolução.

6. Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer à CAPES pelo financiamento que apoia a pesquisa.

7. Referências

- Bocanegra, J.; Pena, J.; Ruiz-Cortes, A. (2011) “Interorganizational Business Modeling: An Approach for Traceability of Goals, Organizational Models and Business Processes”, *IEEE Latin America Transactions*, v. 9, n. 1, pp.847-854.
- Bouchbout, K.; Alimazighi, Z. (2011) “Inter-Organizational Business Processes Modelling Framework”, *In Conference on Advances in Databases and Information Systems*, Vienna.

- Brasil (2009) Lei complementar nº 131 – Disponibilização em tempo real de informações, https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/LCP/Lcp131.htm
- Brasil. (2011) Lei nº 12.527 – Lei de acesso à informação, http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2011/lei/112527.htm
- Cappelli, C.; Engiel, P.; Leite, J. C.; Nunes, V.; Tanaka, A.; Santos, G.; Benjamim, K. (2014) “A Evolução do Modelo de Maturidade em Transparência Organizacional”, *In Workshop de Transparência em Sistemas*, Londrina.
- Choi, T.; Kröschel, I. (2015) “Challenges of governing inter-organizational relationships: Insights from a case study”, *In European Conference on Information Systems*, pp. 1-16, Münster.
- Corso, K.; Fossá, M. I. (2008) “Discutindo as diferenças culturais, conflitos e os mecanismos de grupo em redes de empresas”, *In Encontro Nacional De Engenharia De Produção*, Rio de Janeiro.
- Denis, J. A.; Nunes, V.; Ralha, C.; Cappelli, C. (2017) “E-gov Transparency Implementation Using Multi-agent System: a Brazilian Study-Case in Lawsuit Distribution Process”, *In Hawaii International Conference on System Sciences*.
- Del-Río-Ortega, A.; Gutiérrez, A. M.; Durán, A.; Resinas, M.; Ruiz-Cortés, A. (2015) “Modelling Service Level Agreements for Business Process Outsourcing Services”, *In International Conference on Advanced Information Systems Engineering*, LNCS 9097, pp. 485-500, Stockholm.
- Drews, P.; Schirmer, I. (2014) “From Enterprise Architecture to Business Ecosystem Architecture”, *In International Enterprise Distributed Object Computing Conference*, pp. 13-22, Ulm.
- El País (2016) “Eduardo Cunha é preso em Brasília pela Lava Jato e levado para Curitiba”, http://brasil.elpais.com/brasil/2016/10/19/politica/1476892544_997459
- Estadão (2017) “PF indicia Eike Batista por corrupção, lavagem e organização criminosa”, <http://politica.estadao.com.br/noticias/geral,pf-indicia-eike-batista-por-corrupcao-lavagem-e-organizacao-criminosa,70001657686>
- Fusco, J. P. (2005) “Redes produtivas e cadeias de fornecimento”. São Paulo: Editora Arte e Ciência.
- G1 (2016) “Ex-governador Sérgio Cabral é preso pela PF na Zona Sul do Rio”, <http://g1.globo.com/rio-de-janeiro/noticia/2016/11/ex-governador-sergio-cabral-e-presos-pela-pf-na-zona-sul-do-rio.html>
- Gazeta do Povo (2017) “Estudante detectou sozinho desvio milionário de bolsas que a UFPR não viu”, <http://www.gazetadopovo.com.br/vida-e-cidadania/estudante-detectou-sozinha-desvio-milionario-de-bolsas-que-a-ufpr-nao-viu-52c7c52x896li4rb2qkrjeona>
- Hsu, C.; Lin, Y-T.; Wang, T. (2015) “A legitimacy challenge of a cross-cultural interorganizational information system”, *European Journal of Information Systems*, v. 24, pp. 278–294.

- Kauremaa, J.; Tanskanen, K. (2016) “Designing interorganizational information systems for supply chain integration: a framework”, *The International Journal of Logistics Management*, v. 27, n. 1, pp. 71-94.
- Khalfallah, M.; Figay, N.; Ghodous, P.; da Silva, C.F. (2013) “Cross-Organizational Business Processes Modeling Using Design-by-Contract Approach”, *In International IFIP Working Conference on Enterprise Interoperability*, LNBIP 144, pp. 77-90, Enschede.
- Lawall, A.; Schaller, T.; Reichelt, D. (2014) “Restricted Relations between Organizations for Cross-Organizational Processes”, *In Conference on Business Informatics*, Lisbon.
- Mueller, T.; Schuldt, D.; Sewald, B.; Morisse, M.; Petrikina, J. (2013) “Towards inter-organizational Enterprise Architecture Management”, *In Americas Conference on Information Systems*, Chicago.
- Nunes, V.; Cappelli, C.; Costa, M. V. (2016) “Promoting Transparency in Government through FACIN: The Brazilian Government Enterprise Architecture Framework”, *In Workshop de Transparência em Sistemas*, Rio de Janeiro.
- Pedroso, J. P. (2009) “A gestão dos relacionamentos interorganizacionais cooperativos: Um estudo de caso”, Dissertação (Mestrado em Administração) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- Polícia Federal (2017) “Operação Lava-Jato”, <http://www.pf.gov.br/imprensa/lava-jato>
- Ranaei, H.; Zareei, A.; Alikhani, F. (2010) “Inter-organizational Relationship Management: A Theoretical Model”, *International Bulletin of Business Administration*, n. 9, pp. 20-30.
- Sebu, M.; Ciocârlie, H. (2015) “Merging business processes for a common workflow in an organizational collaborative scenario”, *In International Conference on System Theory, Control and Computing*, pp. 134-139, Cheile Gradistei.
- Sun, K.; Yu, K. (2011) “Research on project management for Inter-Organizational Information Systems”, *In International Conference on E-Business and E-Government*, pp. 1-4, Shanghai.
- Transparency International (2017) “Corruption perception index”, https://www.transparency.org/news/feature/corruption_perceptions_index_2016
- Van Fenema, P.; Keers, B.; Zijm, H. (2014) “Interorganizational Shared Services: Creating Value across Organizational Boundaries”, *Shared Services as a New Organizational Form*, v. 13, pp. 175-217.
- Zhu, Z.; Huang, H. (2007) “The Cultural Integration in the Process of Cross-border Mergers and Acquisitions”, *International Management Review*, v. 3, n. 2, pp. 40-44.

Um Panorama sobre a Acessibilidade para Transparência em Sites de Institutos Federais do Centro-Oeste do Brasil

Camila L. Silva¹, João Augusto Felberg¹, João Cabano¹, Anderson C. Lima¹

¹Campus de Ponta Porã – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS)
Rua Itibiré Vieira, Km 4.5, s/n – 79907-414 – Ponta Porã – MS – Brasil

{caahmilk, joao.felberg, joao.cabano, anderson.correa.lima}@gmail.com

Abstract. *The objective of this study is to verify the degree of accessibility on Federal Institutes (FI) websites of the central-western region of Brazil. FI's are public institutions of excellence in technical and higher education in the country. Each year, thousands of candidates and students seek information and services on the FI's websites. This is a vast public and possibly also consists of people with some degree of disability. To make sure that the websites of educational institutions are accessible is an indispensable task, and, if its case, is possible to suggest the insertion of accessibility recommendations, which are prerequisites for transparent and universal access to information*

Resumo. *Este trabalho tem por objetivo verificar o grau de acessibilidade em websites dos Institutos Federais (IF's) da região centro-oeste do Brasil. Os IF's são instituições públicas de excelência no ensino técnico e superior no país. A cada ano milhares de candidatos e alunos buscam informações e serviços nos websites dos IF's. Este é um público vasto e que possivelmente também é composto por pessoas com algum grau de deficiência. Verificar se os websites de instituições de ensino são acessíveis é uma tarefa imprescindível, pois se for o caso, é possível sugerir a inserção de recomendações de acessibilidade, que são pré-requisitos para um acesso transparente e universal da informação.*

1. Introdução

De acordo com a Lei de acesso à informação pública, Lei nº 12.527/2011, qualquer pessoa pode ter acesso a informações que estejam sob a guarda de órgãos públicos, em todos os poderes. Assim sendo, garantir a acessibilidade em sítios governamentais é uma tarefa de extrema importância, pois por meio dela todo indivíduo, independente de suas condições físicas ou mentais, pode ter um acesso mais facilitado às informações prestadas nesses sítios. Ao seguir as normas de acessibilidade, os *websites* tornam o processo de acesso a informação mais facilitado e transparente para todo e qualquer cidadão.

A principal motivação deste trabalho decorre do fato de que apesar da acessibilidade em *websites* ser uma questão do novo século, são poucos os trabalhos que abordam a verificação deste quesito em sítios de instituições públicas de ensino, particularmente em Institutos Federais (IF's). Em contrapartida, o Governo Federal Brasileiro já promove a adoção do Modelo de Acessibilidade em Governo Eletrônico (eMAG) [eMAG Governo Federal 2005] nos *websites* das instituições públicas. O eMAG tem o

Trabalho elaborado com o apoio do Programa de Educação Tutorial (PET/SESu/MEC).

compromisso de ser o norteador no desenvolvimento e na adaptação de conteúdos digitais do governo federal, garantindo o acesso a todos. As recomendações do eMAG permitem que a implementação da acessibilidade digital seja conduzida de forma padronizada, com fácil implementação, coerente com as necessidades brasileiras e em conformidade com os padrões internacionais. É importante ressaltar que o eMAG trata de uma versão especializada do documento internacional WCAG (*Web Content Accessibility Guidelines: Recomendações de Acessibilidade para Conteúdo Web*) [W3C Initiative 2008] voltado para o governo brasileiro, porém o eMAG não exclui qualquer boa prática de acessibilidade do WCAG. O WCAG é o principal documento internacional para verificação de acessibilidade em *websites* da internet.

Alguns trabalhos correlatos [Pereira et al. 2013, Mota et al. 2014, de Almeida et al. 2016, DE ABREU et al. 2014], tiveram por objetivo identificar quais eram as dificuldades relacionadas às normas de acessibilidade em *websites* de instituições públicas brasileiras. A partir destes trabalhos foi possível determinar o grau de acessibilidade de diversos sítios públicos eletrônicos. Estes trabalhos foram realizados por meio de recomendações dos modelos WCAG e eMAG, utilizando para tal as ferramentas verificadoras de acessibilidade: Ases [ASES - Governo Federal 2015] e W3C [W3C 1997]. Ases e W3C são ferramentas disponibilizadas *online*, que realizam por meio de métricas, uma avaliação sobre o nível de acessibilidade em um sítio eletrônico.

Em se tratando da verificação de acessibilidade de instituições públicas de ensino brasileiras, constatou-se que apesar da importância como centros de ensino inclusivos, não são encontrados trabalhos, que realizassem os testes de acessibilidade nos *websites* dos IF's por regiões brasileiras. É objetivo deste trabalho realizar um levantamento inicial sobre a questão de acessibilidade em *websites* dos Institutos Federais Brasileiros por região. Nesta primeira etapa, por uma questão de localização geográfica da pesquisa, foi escolhida a região Centro-Oeste do país. O levantamento foi realizado utilizando o verificador de acessibilidade DaSilva [Acessibilidade Brasil 2006]. A partir das informações coletadas foi realizada uma análise dos principais erros encontrados pela ferramenta, que aqui são acompanhados de recomendações para correção de cada erro.

2. Referencial Teórico

Nesta seção é apresentado o referencial teórico necessário para a fundamentação deste trabalho. São discutidas seções sobre: a importância da acessibilidade na web, os principais modelos de verificação, a transparência de informação e por fim a metodologia aplicada no projeto.

2.1. Acessibilidade e Tecnologia

Segundo censo realizado pelo IBGE, no ano de 2010 estimava-se que existiam 45 milhões de pessoas com algum tipo de deficiência no Brasil, isto equivale a 23,92% do número total de habitantes do país [Ferreira 2016]. Deste percentual, 1,7% estão localizados na região Centro-Oeste do país, o que totaliza 1,4 milhões de pessoas que apresentam algum tipo de deficiência na região. A distribuição proporcional de pessoas com algum tipo de deficiência no Brasil é representada pela Figura 1.

Muitas vezes a deficiência não é severa o suficiente a ponto de tornar-se uma barreira à utilização do computador. Entretanto, na maioria das páginas da web, pessoas

cegas ou com baixa visão, pessoas com deficiência auditiva ou com dificuldade em utilizar o mouse, por exemplo, encontram barreiras de acessibilidade, que dificultam ou impossibilitam o acesso aos seus conteúdos [eMAG Governo Federal 2005]. Muitas pessoas também apresentam outras limitações relacionadas à memória, resolução de problemas, atenção, compreensão verbal, leitura e linguística, compreensão matemática e compreensão visual. Uma pessoa com dislexia, por exemplo, pode apresentar dificuldade de leitura de uma página devido a um desenho inadequado. Por isso, um sítio desenvolvido considerando a acessibilidade deve englobar os diferentes níveis de escolaridade, de faixa etária e a possibilidade de pouca experiência na utilização do computador, além de ser compatível com as diversas tecnologias utilizadas para acessar uma página da internet[eMAG Governo Federal 2005].

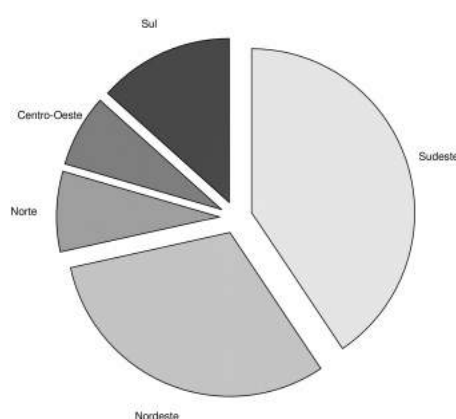


Figura 1. Representação da distribuição de pessoas com algum tipo de deficiência por regiões do Brasil.

Na sociedade atual é uma questão bastante pertinente a definição de meios, pelos quais a parcela da população com algum tipo de deficiência possa exercer da melhor forma possível, as mesmas atividades rotineiras e diárias de qualquer pessoa. Dentre estas atividades, o acesso à informação utilizando algum tipo de dispositivo tecnológico é essencial, visto que estes possibilitam a ampliação do conhecimento, a comunicação e o desenvolvimento de habilidades. O acesso a tecnologias, segundo [Castells 1999], é extremamente impactante nesta geração, logo é preciso garantir que toda a população tenha uma experiência similar, durante o processo de interação tecnológica de busca de informações. Assim sendo, o decreto nº 5.296, de 2 de dezembro de 2004, fundamentou que todo sítio e portal eletrônico de posse da administração pública deva ser desenvolvido de forma que possa transmitir suas informações e serviços a todo tipo de público usuário, garantindo assim a acessibilidade e com isto uma transparência facilitada de seus dados [DE ABREU et al. 2014].

2.2. Modelos de Acessibilidade

Modelos de acessibilidade abrangem um vasto conjunto de recomendações que têm como objetivo tornar o conteúdo da internet mais acessível. As recomendações buscam uniformizar o desenvolvimento dos códigos web, para assim facilitar o uso de ferramentas de acessibilidade como leitores de tela e monitores adaptados.

O cumprimento destas recomendações torna o conteúdo da internet mais acessível e transparente a um maior número de pessoas com incapacidades, incluindo cegueira e

baixa visão, surdez e baixa audição, dificuldades de aprendizagem, limitações cognitivas, limitações de movimentos, incapacidade de fala, fotossensibilidade, bem como as que tenham uma combinação destas limitações. Seguir estas recomendações fará também com que o conteúdo web se torne mais usável aos utilizadores em geral [W3C 1997].

Dentre os modelos de acessibilidade existentes, destacam-se dois que também foram utilizados neste trabalho, são eles:

O WCAG: As Diretrizes de Acessibilidade para Conteúdo Web, em inglês *Web Content Accessibility Guidelines* (WCAG), constituem o modelo de recomendação para *websites* mais aceito no mundo, porém, cada país tem a liberdade para determinar seu próprio conjunto de diretrizes de acessibilidade [MAIA 2017]. O WCAG possui recomendações e instruções que descrevem como deve ser a estrutura de desenvolvimento de um *website* acessível, servindo assim de referência base para diversos outros modelos de avaliação de acessibilidade de sítios eletrônicos.

O eMAG: O Modelo de Acessibilidade em Governo Eletrônico (eMAG) consiste em uma cartilha elaborada com recomendações e boas-práticas, que devem ser implementadas em *websites* governamentais brasileiros, para garantir o teor de acessibilidade e uma maior transparência das informações e serviços neles contidos. Desenvolvido em 2004, as diretrizes do eMAG podem ser utilizadas para mensurar os índices de acessibilidade dos *websites* da esfera federal do governo brasileiro [MAIA 2017].

2.3. O Avaliador DaSilva

Dentre os avaliadores de acessibilidade em *websites*, os que foram utilizados para este trabalho são os encontrados em análises bibliográficas cujos resultados são considerados mais concisos e bem elaborados, com destaque para o avaliador **Dasilva**. Esta plataforma Java consiste no primeiro avaliador em português de *websites*, disponibilizado em www.dasilva.org.br. Utiliza como base para suas verificações os modelos de acessibilidade e-Mag e WCAG. O DaSilva avalia toda a estrutura de construção de um *website*. Os resultados de seus testes são gerados em ordem de prioridades dos erros (do mais relevante ao menos relevante). Ele consiste em uma aplicação cuja execução é reconhecida e utilizada pela literatura [de Sousa et al. 2008] [Santos 2016] [DE ABREU et al. 2014] [de Almeida et al. 2016] [MAIA 2017].

2.4. Acessibilidade para Transparência

Segundo [Araújo et al. 2010], a acessibilidade constitui um dos pilares essenciais para que o propósito de transparência de informações na internet seja facilitado. Isso porque a acessibilidade busca tornar mais igualitário o processo de obtenção de uma informação na web por pessoas portadoras ou não de algum tipo de deficiência. Se pessoas com alguma deficiência não conseguem acessar a informação ou possuem muita dificuldade neste processo, então o *website* em questão dificulta a transparência de seu conteúdo.

2.5. Trabalhos Correlatos

A acessibilidade na web, ou rede mundial de computadores, diz respeito a viabilizar que qualquer pessoa, usando qualquer tecnologia adequada à navegação web esteja apta a visitar qualquer *website*, obtenha a informação oferecida e interaja com o mesmo. Para que

isso seja possível, é necessário que os criadores de páginas e sistemas web, assim como seus mantenedores, estejam atentos às recomendações de acessibilidade [Melo 2009]. Nesta seção são apresentados alguns trabalhos relacionados com este tema e que serviram de inspiração para este projeto, são eles:

- O trabalho de [Pereira et al. 2013] realizou uma análise sobre o grau de acessibilidade em sítios eletrônicos de instituições de ensino de nível superior do país. Os resultados obtidos foram utilizados em conclusões acerca dos erros de acessibilidade mais frequentes nos *websites* das instituições. Mostrou-se que as instituições analisadas muitas vezes não estavam em conformidade com o modelo eMAG, que foi o utilizado no trabalho.
- O trabalho de [Mota et al. 2014] efetuou uma análise sobre o grau de acessibilidade nos portais eletrônicos dos institutos federais localizados no estado de Minas Gerais. Foi realizada uma medição da acessibilidade por meio das ferramentas *online* ASES (Avaliador e Simulador de Acessibilidade de Sítios) e da-Silva.org.br [ASES - Governo Federal 2015, Acessibilidade Brasil 2006]. Neste caso, verificou-se que os *websites* apurados continham inconformidades com o eMAG. Como conclusão principal, constatou-se que um dos principais motivos era o número reduzido de funcionários de tecnologia da informação especializados sobre o assunto dentro das instituições.
- O trabalho [de Almeida et al. 2016] buscou propor recomendações acerca da inserção da acessibilidade em *websites*. O trabalho utilizou o método automático de avaliação de acessibilidade TAW. O TAW é uma ferramenta do W3C (*World Wide Web Consortium*) e foi utilizado para verificar os *websites* de diversas instituições federais de ensino superior. De acordo com os erros coletados durante a avaliação, foram fornecidas sugestões para evitá-los.
- Em seu trabalho [DE ABREU et al. 2014] realizou uma análise sobre quatorze portais de informação das prefeituras de cidades do estado de Rio de Janeiro, mais especificamente, da região Sul Fluminense do estado. Ele constatou que apenas um dos sítios analisados estava em conformidade com as diretrizes especificadas pelo eMAG. Em sua conclusão ele descreveu sobre a necessidade e a importância do vínculo entre transparência de informações e acessibilidade.
- Com enfoque na acessibilidade de analfabetos funcionais, [Capra et al. 2013] realizou um levantamento aplicado em dois *websites*: um do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE) e outro do Ministério da Previdência Social (MPS). A análise utilizou a fórmula de inteligibilidade *Flesch Reading Ease* e a ferramenta *CohMatrix-Port* [Scarton and Aluísio 2010]. De acordo com os resultados obtidos concluiu-se que tanto a acessibilidade dos *websites*, quanto os testes de usabilidade foram insatisfatórios. Os verificadores apontaram falhas no desenvolvimento das aplicações.

3. Metodologia e Desenvolvimento

Para a tarefa de avaliação de acessibilidade em *websites* de Institutos Federais Brasileiros da região Centro-Oeste, o processo de desenvolvimento deste trabalho foi dividido em etapas, são elas:

1. **Análise de trabalhos correlatos:** verificação de trabalhos similares na literatura realizando uma análise de suas perspectivas e resultados.

2. **Levantamento e escolha dos *websites* para análise de acessibilidade:** optou-se neste trabalho pelos sítios de Institutos Federais da região Centro-Oeste, devido a localização geográfica e ao conhecimento dos autores sobre a região. Particularmente, não foram encontrados trabalhos que abordem o segmento de IF's por regiões na literatura. Entretanto esta análise é urgente, dada a importância ao acesso de conteúdo de forma clara e íntegra, por qualquer estudante ou candidato a ingresso nestes centros de ensino públicos e de excelência.
3. **Definição de avaliador:** Escolha de um avaliador de acessibilidade para a tarefa de levantamento de erros e inconsistências dos *websites*. Dentre os avaliadores disponíveis escolheu-se o DaSilva, por ser uma ferramenta gratuita e abrangente, que realiza uma varredura no documento *web* validando acessibilidade tanto pelas diretrizes do WCAG, quanto do eMAG.
4. **Análise dos resultados obtidos:** Foi realizada uma análise dos resultados, identificando as mais graves inconsistências das principais recomendações e sugerindo soluções que pudessem supri-las.

3.1. Os *Websites* Selecionados

A implantação dos Institutos Federais no Brasil é um projeto progressista que entende a educação como compromisso de transformação e de enriquecimento de conhecimentos objetivos capazes de modificar a vida social e de atribuir-lhe maior sentido e alcance no conjunto da experiência humana, proposta incompatível com uma visão conservadora de sociedade. Trata-se, portanto, de uma estratégia de ação política e de transformação social [Pacheco 2011]. Assim sendo garantir o acesso universal as informações dos *websites* dos IF's é também uma tarefa de transformação social. É preciso então garantir que o acesso a estas informações seja acessível e possua transparência facilitada.

4. Resultados

Como já descrito, para a verificação de acessibilidade utilizou-se a ferramenta de avaliação **DaSilva**. Foram pesquisados os sítios eletrônicos das unidades dos Institutos Federais presentes nos estados e no distrito federal da região Centro-Oeste do Brasil. Os resultados desta análise foram compilados na Tabela 1.

IF's-Regiões	Sites Avaliados	Média de Erros				Média de Alertas	
		P1	P2	P3	e-MAG	P1+P2+P3	e-MAG
IF's da Reg. 1	7	16	11	0	23	142	20
IF's da Reg. 2	15	113	5	0	88	173	49
IF's da Reg. 3	5	22	14	0	34	212	50
IF's da Reg. 4	10	23	4	0	45	386	34
	Média Total:	43,5	8,5	0	47,5	228,25	38,25

Tabela 1. Análise de acessibilidade do IF's da região Centro-Oeste.

4.1. Análise de Resultados

A primeira coluna da Tabela 1 apresenta as quatro regiões pesquisadas. Em uma mesma região geralmente existem diversas unidades de IF's. A segunda coluna apresenta o número de *websites* avaliados por unidades de IF's de cada região pesquisada. As colunas

três e quatro contemplam a **média de erros** e **média de alertas** encontrados na varredura de acessibilidade dos *websites* por meio do avaliador. A média de erros foi categorizada dispondo erros encontrados pelo WCAG e pelo eMAG. Em particular, os erros e alertas do WCAG foram divididos em prioridade grave (**P1**), prioridade média (**P2**) e prioridade não relevante (**P3**). As médias totais descritas na última linha foram calculadas pela seguinte fórmula: **Média Total = Total de Erros / Número de Regiões**, por exemplo, para erros graves (P1) a média calculada foi igual a 43,5 que é igual a 174 / 4.

Média = Número de Erros Graves / Número de IF's

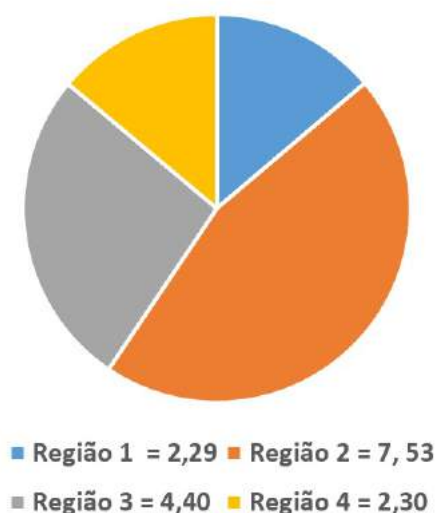


Figura 2. Análise de erros graves nos IF's de cada região.

O gráfico representado pela Figura 2 apresenta a média do número de erros graves por IF's em cada região. Pode-se perceber que a região 2 apresentou a média com o maior índice de erros.

Por meio destes resultados percebe-se que a quantidade de erros graves encontrados nos *websites* dos IF's das quatro regiões pesquisadas é bastante acentuado. Este é um fator crítico, pois revela que existe uma grande dificuldade no processo de acesso ao conteúdo por pessoas com algum tipo de deficiência. Os erros de categoria média (P2) também possuíram um número relevante, o que corrobora ainda mais na dificuldade de acessibilidade dos *websites*.

4.2. Principais Recomendações de Acessibilidade Inconsistentes e Comuns nos IF's

As principais recomendações de acessibilidade que geraram erros e alertas e que são comuns nos *websites* dos IF's dos estados pesquisados são apresentadas a seguir. Elas são acompanhadas de uma definição e da solução sugerida pelos documentos de acessibilidade WCAG e/ou eMAG. Tratam-se de recomendações (diretrizes) com relevância considerada alta, visto que o não cumprimento delas impede a acessibilidade de pessoas com algum grau de deficiência. São elas:

- **Conteúdo Não Textual:** Diretriz 1.1.1 do eMAG e 3.6 do WCAG. Descreve que todo conteúdo não textual que é apresentado ao usuário deve ter uma alternativa

em texto que sirva para um propósito equivalente. Possui uma relevância considerada alta, visto que o não cumprimento da recomendação impede a acessibilidade para pessoas com algum grau de deficiência visual. A diretriz descreve que todo o acesso a informação disposto como imagens, tabelas e gráficos possua uma tradução em texto. Esta ação é bastante útil para diversas aplicações de acessibilidade, como os leitores de tela, por exemplo, que se baseiam nas informações contidas nos códigos do site, para realizar a tradução do conteúdo para linguagem natural. A forma para garantir a validade da diretriz consiste em garantir a inserção de rótulos e descrições nos elementos não textuais existentes, por meio dos recursos disponibilizados pela linguagem de programação utilizada na estruturação do conteúdo.

- **Informações e Relações:** Diretriz 1.7 do eMAG 1.3.1 e do WCAG. Descreve que as informações, a estrutura e as relações transmitidas através da apresentação possam ser determinadas de forma programática ou estejam disponíveis no texto. A diretriz consiste em garantir que a estrutura do *website* seja lógica e coerente, para que, caso a forma de apresentação do conteúdo mude, no caso de transformação para linguagem de voz, por exemplo, o contexto não seja alterado e o usuário consiga receber a informação de forma correta. A forma para garantir a validade da diretriz consiste da utilização de marcadores semânticos nas estruturas do conteúdo.
- **Etiquetas ou Instruções:** Diretriz 3.3.2 do WCAG. Descreve que as etiquetas ou instruções do *website* sejam fornecidas sempre que o conteúdo deste exigir a entrada de dados por parte do usuário. Essa recomendação procura garantir que o usuário saiba que determinado elemento do *website* requer entrada de dados e especifica o tipo de dado esperado, juntamente com informações relevantes sobre o uso que se dará com a informação recebida. A forma para garantir a validade da diretriz descreve que existam rótulos que associem textos a formulários, na estrutura do *website*.
- **Nome, Função, Valor:** Diretriz 4.1.2 do WCAG. Descreve que todos os componentes da interface de utilizador (incluindo, mas não se limitando a: elementos de formulário, hiperligações e componentes gerados por scripts), o nome e a função possam ser determinados de forma programática. Além disto os estados, as propriedades e os valores, que podem ser parametrizados pelo utilizador, também possam ser definidos de forma programática. A notificação das alterações a estes elementos deve estar disponível para consulta pelos agentes de utilizador, incluindo as tecnologias de apoio. A forma para garantir a validade da diretriz descreve, que caso seja utilizado alguma aplicação de interface no *website*, deve-se implementar medidas para garantir que os aplicativos de acessibilidade recebam as notificações corretamente.
- **Teclado:** Diretriz 2.1.1 do WCAG e 2.2 e 2.1 do eMAG. Descreve que é preciso permitir que todas as funcionalidades do *website* também possam ser desenvolvidas via interação com o teclado. Ou seja, se a única forma de o usuário interagir com o site for por meio de teclados, então é preciso garantir que as funcionalidades do *website* consigam ser adaptadas para operar nesta situação. A forma para garantir a validade da diretriz descreve que as aplicações sejam adaptáveis para funcionarem tanto da forma original, quanto em uma opção genérica, operável pelo teclado e isto sem mudança no possível resultado final.

- **Foco:** Diretriz 6.4 do eMAG. Descreve que quando um elemento de formulário receber foco, não deva ser iniciada nenhuma mudança automática na página que confunda ou desorienta o usuário. As mudanças devem ocorrer através do acionamento de um botão. Isto porque qualquer mudança de contexto inesperada no fluxo ou conteúdo do *website* pode frustrar um usuário que utiliza aplicações de acessibilidade, já que a mudança pode não ser percebida tão facilmente. A forma para garantir a viabilidade da diretriz descreve que mudanças de contexto devam ser aplicadas apenas quando sua ocorrência forem explícitas com interação prévia do usuário.
- **Identificação:** Diretriz 3.5 do eMAG. Descreve que é preciso identificar claramente o destino de cada link, informando, inclusive, se o link remete a outro sítio. Além disso, é preciso que o texto do link faça sentido mesmo quando isolado do contexto da página. Busca garantir que o usuário tenha ciência do local para onde será redirecionado caso uma determinada ação seja realizada. A forma para garantir a viabilidade da diretriz descreve que é preciso determinar rótulos e descrições em todos elementos que realizem redirecionamentos, como botões, de forma a deixar claro para onde será feito o redirecionamento.

5. Conclusão

A pesquisa deste trabalho destaca que os *websites* dos IF's da região Centro-Oeste do país não estão em plena conformidade com as diretrizes de acessibilidade reconhecidas e aceitas. Pode-se inferir que ainda há muito trabalho a ser feito, para que as diretrizes sejam cumpridas, e conseqüentemente, que a informação seja acessada por todo tipo de usuário. Assim sendo, pode-se concluir que a transparência das informações nos *websites* dos Institutos Federais da região Centro-Oeste do Brasil também não está sendo ofertada em totalidade, já que uma parcela dos receptores dos dados pode não estar conseguindo ter acesso aos mesmos. Percebe-se que apesar da existência de documentos com recomendações de acessibilidade para internet, os desenvolvedores da estrutura do conteúdo web destas instituições podem não estar familiarizados com as normas e leis ou não estão sendo informados sobre a necessidade de realizar adaptações necessárias para garantir a acessibilidade e assim facilitar a transparência de acesso a informação nos *websites*.

6. Trabalhos Futuros

Um trabalho futuro, que é motivação de continuidade, consiste em realizar novos experimentos sobre a acessibilidade em *websites* dos IF'S da região Centro-Oeste. A partir destes novos experimentos a proposta é desenvolver uma aplicação web, que seja capaz de auxiliar na correção dos erros de acessibilidade que forem encontrados, de forma a apresentar aos desenvolvedores como o código deveria estar organizado para garantir o acesso de todos os usuários.

Referências

- Acessibilidade Brasil (2006). Avaliador de Acessibilidade. <http://www.dasilva.org.br/>, note = Online; accessed 19 march 2017.
- Araújo, R. M., Cappelli, C., and Leite, J. (2010). A importância de um modelo de estágios para avaliar transparência. *Revista TCMRJ, setembro*, (45):97.

- ASES - Governo Federal (2015). Avaliador e Simulador de Acessibilidade em Sítios. <http://asesweb.governoeletronico.gov.br/ases/>, note = Online; accessed 19 march 2017.
- Capra, E., Benjamin, K., Ferreira, S. B. L., Capelli, C., and da Silveira, D. S. (2013). O acesso dos analfabetos funcionais ao conteúdo informacional dos sites governamentais brasileiros. In *Proceedings of the 12th Brazilian Symposium on Human Factors in Computing Systems*, pages 132–141. Brazilian Computer Society.
- Castells, M. (1999). *A era da informação: economia, sociedade e cultura.*, volume 1. Paz e terra.
- DE ABREU, J. C. A., DE AGUIAR, A. O., and DA HORA, R. D. (2014). Internet portal south fluminense region-brazil: An exploratory study. *RIEM*, page 122.
- de Almeida, L. R., de Brito, R. R., da Silva, A. P., de Lima Farias, Á., and de Castro Neto, D. S. M. (2016). Acessibilidade virtual: Um estudo acerca da acessibilidade, usabilidade e comunicabilidade em portais institucionais federais.
- de Sousa, F. F., Osorio, M. C., and de Andrade, E. L. (2008). Proposta de avaliação de acessibilidade em sites por deficientes visuais.
- eMAG Governo Federal (2005). emag - modelo de acessibilidade em governo eletrônico. <http://emag.governoeletronico.gov.br/>, note = Online; accessed 19 march 2017.
- Ferreira, F. S. (2016). Os dois mundos da inclusão do deficiente visual.
- MAIA, L. S. (2017). Uma análise preliminar da acessibilidade web dos sites de serviços de divulgação pública no brasil com base no e-mag.
- Melo, A. M. (2009). Acessibilidade na web. *ACESSIBILIDADE*, page 33.
- Mota, F. A. O., Diniz, A. P. V., Minoves, C. S., and de Paiva Oliveira, S. (2014). Acessibilidade web dos sites oficiais dos institutos federais presentes no estado de minas gerais. *Anais dos Simpósios de Informática do IFNMG-Campus Januária*.
- Pacheco, E. (2011). Os institutos federais: uma revolução na educação profissional e tecnológica. *São Paulo: Moderna*.
- Pereira, A. S., Machado, A. M., and Carneiro, T. C. J. (2013). Avaliação da acessibilidade dos sítios eletrônicos das instituições de ensino superior brasileiras. *Informação & Sociedade*, 23(3).
- Santos, G. C. (2016). Aspectos de acessibilidade do governo eletrônico: Avaliação de portais web com ênfase em portadores de deficiência visual. *Projetos e Dissertações em Sistemas de Informação e Gestão do Conhecimento*, 4(2).
- Scarton, C. E. and Aluísio, S. M. (2010). Análise da inteligibilidade de textos via ferramentas de processamento de língua natural: adaptando as métricas do coh-matrix para português.
- W3C (1997). Web accessibility initiative (wai). <https://www.w3.org/WAI/>, note = Online; accessed 19 march 2017.
- W3C Initiative (2008). Web Content Accessibility Guidelines (WCAG). <https://www.w3.org/WAI/intro/wcag>, note = Online; accessed 19 march 2017.

Existe uma Demanda de Transparência? Análise de comentários à Projetos de Lei

Roxana Lisette Quintanilla Portugal¹, Priscila Engiel^{1,2},
Julio Cesar Sampaio do Prado Leite¹

¹ Departamento de Informática, PUC-Rio, Rio de Janeiro, Brasil

² Dpto. de Engenharia de Computação e Informação da Universidade de Trento, Itália

{rportugal, pengiel, julio}@inf.puc-rio.br

***Abstract.** In 2014, Engiel et al. manually verified the demand for transparency on the Votenaweb site for the bills of the year 2013. In 2016, Engiel et al. used text mining in the existing bills at the site (5011) with the same goal. There were 131 bills rated as 10+ voted and 10+ transparent. Of the 10+ transparent, this work extracted its comments to check if there was any tendency or demand for transparency. As a result, six bills have been identified for having comments that demand transparency. For those comments a qualitative analysis is presented.*

***Resumo.** Em 2014, Engiel et al. verificaram manualmente a demanda por transparência no site Votenaweb para os projetos de lei no ano de 2013. Em 2016, Engiel et al. usaram técnicas de mineração, cobrindo os projetos de lei até aquela data (5011) com o mesmo objetivo. Foram encontrados 131 projetos de leis classificados nos 10+ votados e 10+ transparentes. Dos 10+ transparentes, esse trabalho minerou os comentários existentes no site para verificar o que a população estava falando e se existia alguma tendência ou demanda. Como resultado, 6 projetos de lei foram identificados por possuir comentários que demandam transparência. Uma análise qualitativa é apresentada sobre esses comentários.*

Palavras-Chave: Transparência, Projetos de Lei, Mineração de Texto

1. Introdução

O estudo de transparência como umbilicalmente ligada a sociedades democráticas tem tido um forte interesse da comunidade de pesquisa: tanto o *WTranS* como a *Global Conference on Transparency Research* demonstram esse fato. No entanto, é importante saber de que maneira os cidadãos demonstram uma demanda por transparência.

Nesse artigo exploramos uma estratégia de entendimento da demanda através do sítio *Votenaweb* (<http://www.votenaweb.com.br/>), uma iniciativa que reúne projetos de lei. O *Votenaweb* disponibiliza o resumo de projetos de lei, e possibilita que a população avalie se concorda ou não, podendo comentar sobre esses.

Os autores desse trabalho trabalham com as informações disponibilizadas nesse site como insumo para análise dessa demanda. Primeiramente, (Engiel et al., 2014) usaram uma análise manual, como melhoria (Engiel et al., 2016) propuseram o uso de mineração de textos, possibilitando cobrir todos os projetos de lei. Continuando as melhorias e análises, o presente trabalho propõe estender a mineração de textos para os comentários. Dessa maneira indo além do voto e procurando extrair dos comentários se eles são demandantes de transparência.

A abordagem proposta tem como objetivo estudar se há uma demanda crescente por transparência, tanto pelos políticos como pelos cidadãos. Ao transparecer o que o cidadão opina, a percepção da aprovação/negação de um projeto de lei melhora e também possibilita a identificação de outras demandas.

O trabalho está organizado da seguinte forma. Capítulo 2 apresenta as atividades realizadas sobre os comentários. Capítulo 3 detalha a análise dos comentários achados como relevantes pela mineração de textos. Capítulo 4 descreve brevemente trabalhos relacionados. Finalmente a conclusão que inclui os trabalhos futuros.

2. Mineração dos comentários

Para realizar a mineração dos textos dos comentários dos projetos de lei, se utilizou como ponto de partida o ranking dos 10 projetos de lei mais transparentes (Tabela 1). (Engiel et al., 2016). Para cada um dos projetos foi realizado um script automatizado (*crawling*) para a recuperação dos comentários, e foram classificados de acordo com a sua votação (sim, não, indeciso). Os comentários de cada projeto sem processamento estão publicados no repositório GitHub (<https://git.io/v9wyJ> [issues 14-16]), de forma a oferecer transparência e possibilitar futuras pesquisas.

A mineração dos comentários dos projetos de lei foi sistematizada em três atividades que permitem descobrir os comentários relacionados a transparência, essas atividades são descritas brevemente a seguir.

Tabela 1. 10+ transparentes (Engiel, 2016)

Projeto de Lei	% Voto (sim)
Determinará obrigações para a realização de audiências públicas.	95%
Tornará obrigatória a divulgação, na internet, da folha de pagamento dos funcionários da Administração Pública Direta e Indireta, incluindo adicionais, auxílios e gratificações	94%
Obrigará a OAB e os outros conselhos profissionais a se submeterem às regras da Lei de Acesso à Informação	97%
Obrigará as universidades públicas e as unidades de pesquisa a criarem arquivos online, de acesso livre, para guardar toda a produção científica dos estudantes, professores, pesquisadores e colaboradores.	92%
Modificará o sistema de arquivamento dos votos em urnas eletrônicas e os mecanismos de transparência dos votos.	72%
Obrigará as empresas estatais federais a divulgarem, de 3 em 3 meses, as despesas realizadas com publicidade e patrocínio no Diário Oficial da União e em jornais de circulação nacional, para aumentar a transparência dos gastos públicos.	93%
Regulamentará a licitação e a contratação de serviços de publicidade por parte da administração pública.	86%
Instituirá o programa de Unidades de Polícia Pacificadora (UPP's) em todo território nacional.	61%
Excluirá da Presidência da República a Controladoria-Geral da União, modificará o Conselho de Governo, passará as competências do Departamento de Saúde Indígena, para o Ministério da Saúde, entre outras mudanças no Poder Executivo.	18%
Obrigará todos os senadores, deputados e vereadores a realizar audiências públicas mensal com o objetivo de prestar informações sobre sua atuação parlamentar.	96%

2.1. Identificação de Palavras Frequentes

Foram identificadas as palavras mais frequentes para o grupo de comentários positivos (relacionados com a votação sim) e para o grupo de comentários negativos (relacionados com a votação não) dos projetos constantes da Tabela 1.

Essas palavras foram organizadas em *Nuvens de Palavras*. Essa nuvem uma representação visual que permite obter uma visão geral de um grupo de textos dando relevância as palavras que ocorrem com mais frequência. Um dos coautores deste artigo identificou manualmente as palavras mais relacionadas com transparência, segundo o grafo de transparência (ER-PUC Rio, 2013), nas duas nuvens de palavras geradas para cada grupo de comentários (Figura. 1. e Figura. 2.) O resultado é mostrado na Tabela 2.

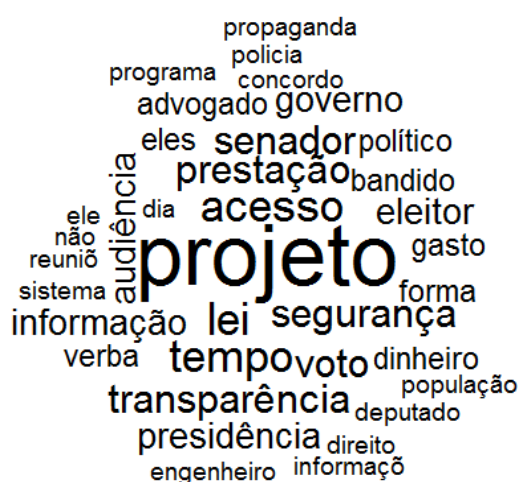


Figura. 1. Palavras mais frequentes em comentários de votação negativa

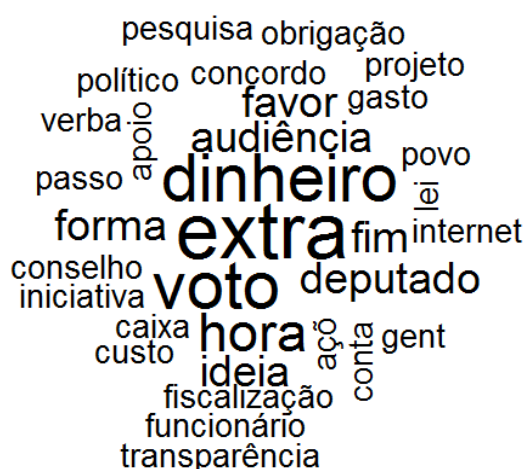


Figura. 2. Palavras mais frequentes em comentários de votação positiva

Tabela 2. Palavras frequentes relacionadas a Transparência.

Comentários (Não)	acesso	prestação	transparência	audiência	informação	informações
Comentários (Sim)	audiência	conta	fiscalização	internet	obrigação	transparência

2.2. Busca de Índícios de Qualidade

Palavras correlacionadas indicam o grau em que um ou mais atributos de um mesmo grupo de elementos possuem ao aparecer juntos. Assim, se duas palavras sempre aparecem juntas o grau é 1.0.

Primeiro, se usou cada palavra da (Tabela 2) para calcular uma lista de suas palavras correlacionadas, colocando como limite inferior um grau de 0.60 de correlação. Segundo, em cada lista de palavras correlacionadas, um dos autores desse artigo identificou aquelas que estão relacionadas a transparência, usando seu conhecimento prévio sobre o tema e o grafo de transparência (ER-PUC Rio, 2013). Terceiro, foi gerada uma planilha que mostra a correlação entre as palavras (Tabela 3) e (Tabela 4).

Tabela 3. Correlação de palavras relacionadas a transparência em comentários com voto negativo

Indícios/ Qualidades	acesso	prestação	transparência	audiência	Informação	Informações
acesso					0.93	0.99
contas		0.98		1.0		
conta		0.98		1.0		
custo		0.98				
demanda		0.98				
divulgação				0.67		
divulgações		0.98		1.0		
explicar		0.98				
exposto		0.98				
gastar		0.98				
gastos		0.98				
informação	0.93					
informações	0.99					
lei	0.93				0.88	
obrigação		0.98				
particular	0.99					1.0
periodicidade		0.98				
prestação				0.98		
privada					0.95	1.00
privacidade		0.98				
projetos			1.00			
processo			0.94			
pública	0.99	0.98		1.0	0.95	1.00
público	0.99			1.0	0.95	1.00
transparencia		0.98				
transparência		0.63		0.67		
votar			0.94			

Tabela 4. Correlação de palavras relacionadas a transparência em comentários com voto positivo

Indícios / Qualidades	audiência	conta	fiscalização	internet	obrigação	transparência
aberto			1,0			
acompanhar				0,65	0,65	0,67
agilizar				0,65	0,65	
audiências				0,65	0,65	0,67
classificada		1,0				
cobrar				0,65	0,65	
conhecimento				0,65	0,65	
conta						0,67
corrupção				0,65	0,65	0,67
custos				0,65	0,65	0,67
democracia						0,67
disponibilizar				0,65	0,65	
divulgações						0,67
explicação				0,65	0,65	
explícitas				0,65	0,65	
fiscalização				0,65	0,65	
fiscalizar				0,65	0,65	
impresso						0,67
informação				0,65	0,65	
internet				0,65	0,65	0,67
liberdade				0,65	0,65	
mafia		1,0				
obrigatoriedade		1,0				
públicas		1,0		0,65	0,65	0,67
público						0,67
transparente			1,0			
transparência			0,65	0,65	0,65	0,67
obrigar			0,65			0,67
obrigação				1,0	1,0	0,67
verba						0,67

2.3. Extração de Textos Usando as Palavras de Qualidade

Os comentários foram minerados de acordo com as palavras relacionadas a transparência identificadas em (Tabela 3) e (Tabela 4). A lista completa dos comentários minerados foram publicados em GitHub (<https://git.io/v9wyJ> [issues 1-13]) para análises qualitativas posteriores. A (Tabela 5) apresenta o resumo do resultado final da mineração, mostrando o total de comentários obtidos. Assume-se o que todos os comentários foram corretamente identificados e possuem qualidades de transparência. Um ponto de atenção é que os comentários dos votos indecisos não foram considerados neste trabalho.

Tabela 5. Projetos identificados utilizando as novas técnicas

Projeto de lei	Comentários com voto sim		Comentários com voto não	
	Total	Minerados	Total	Minerados
Obrigará todos os senadores, deputados e vereadores a realizar audiências públicas mensal com o objetivo de prestar informações sobre sua atuação parlamentar.	39	21	14	14
Obrigará a OAB e os outros conselhos profissionais a se submeterem às regras da Lei de Acesso à Informação.	18	7	6	4
Tornará obrigatória a divulgação, na internet, da folha de pagamento dos funcionários da Administração Pública Direta e Indireta, incluindo adicionais, auxílios e gratificações.	11	5	7	2
Obrigará as universidades públicas e as unidades de pesquisa a criarem arquivos online, de acesso livre, para guardar toda a produção científica dos estudantes, professores, pesquisadores e colaboradores.	9	1	4	1
Modificará o sistema de arquivamento dos votos em urnas eletrônicas e os mecanismos de transparência dos votos.	4	2	14	7
Instituirá o programa de Unidades de Polícia Pacificadora (UPP's) em todo território nacional.	4	1	20	0
Obrigará as empresas estatais federais a divulgarem, de 3 em 3 meses, as despesas realizadas com publicidade e patrocínio no Diário Oficial da União e em jornais de circulação nacional, para aumentar a transparência dos gastos públicos.	2	1	1	0
Regulamentará a licitação e a contratação de serviços de publicidade por parte da administração pública.	1	1	1	1
Determinará obrigações para a realização de audiências públicas.	0	0	1	0
Excluirá da Presidência da República a Controladoria-Geral da União, modificará o Conselho de Governo, passará as competências do Departamento de Saúde Indígena, para o Ministério da Saúde, entre outras mudanças no Poder Executivo.	0	0	6	0
Total	88	39	74	29

3. Necessidade por Transparência

Para cada projeto considerado 10+ transparente, foram analisados os comentários filtrados para verificar as tendências:

O projeto PLC 1080-2011 Obrigará todos os senadores, deputados e vereadores a realizar audiências públicas mensal com o objetivo de prestar informações sobre sua atuação parlamentar. Nos comentários relacionados ao SIM verificamos uma tendência ao favor da participação da sociedade, um incentivo a prestação de contas e ao controle social. Os cidadãos acreditam que a prestação de contas e o acompanhamento dos gastos públicos é um passo para combater a corrupção. Já os comentários relacionados ao NÃO, mostram uma preocupação com os gastos públicos com essas audiências públicas. Os cidadãos se colocam a favor da transparência e divulgação de informações, apenas não concordam com a forma que está sendo proposta através das audiências que oneram os gastos públicos.

Voto não. Tá faltando algo nesta [lei] do jeito que tá exposto, vai tornar mais moroso o [processo] legislativo, fora os gastos mensais com o evento prestação de [contas]. Prestação de [contas] é importante, mas precisa ser um meio mais dinâmico e menos oneroso.

Voto sim. [Transparência]! Devemos poder [acompanhar] ainda que pela [internet], o que cada parlamentar está fazendo. Essa é a melhor maneira de [fiscalização]. "... deverão [disponibilizar] em seus sites oficiais na [Internet] espaço destinado à consulta para todas as pessoas interessadas contendo informações sobre as [audiências] [públicas] realizadas..."

Figura. 3 Comentários no Projeto de Lei PLC-1080-2011

O projeto pls-193-2013, obrigará a Ordem dos Advogados do Brasil – OAB entre outros, se submeterem às regras da Lei de Acesso à Informação. Pode-se entender pelos comentários relacionados ao SIM, que os cidadãos concordam em que tais órgãos forneçam informações quando for solicitado, no entanto, os comentários relacionados ao NÃO também demandam transparência, mas restrita aos advogados.

Voto sim. Também deve ser estendido para as autarquias e Fundações [Públicas]. Somente com [transparência] e [fiscalização] [popular] diminuiremos o uso dessas instituições como caixa dois!

Voto não. Os conselhos profissionais não têm verba [pública] envolvida então a lei de [acesso] à [informação] não se aplica se aplica apenas aos profissionais de cada área registrados, estes sim podem solicitar [acesso] à [informações], o [público] em geral não tem porque ter [acesso] às [informações], porque um administrador ou um engenheiro precisa saber das contas da OAB? se quem contribui são os advogados? Os Advogados sim precisam ter [acesso] a [informações] da OAB, engenheiros do CREA e assim por diante.

Figura. 4 Comentários no Projeto de Lei pls-193-2013

O projeto de lei PLS-3497-2015 Tornará obrigatória a divulgação, na internet, da folha de pagamento dos funcionários da Administração Pública Direta e Indireta, incluindo adicionais, auxílios e gratificações) propõe a divulgação da folha de pagamento na internet. Os comentários relacionados ao SIM são relacionados a favor da transparência, divulgação dos dados, como também demandam um maior acompanhamento por parte da população do uso do dinheiro público. Os comentários relacionados ao NÃO expressam uma preocupação sobre a transparência e privacidade, que gera uma discussão de quais informações deveriam ser consideradas públicas e quais necessitam de um maior sigilo.

Voto sim. Deveria [obrigar] a [divulgação] do pagamento dos não concursados e o grau de parentesco destes com administradores, políticos, juizes e ministros.

Voto não. As empresas [privadas] vão divulgar também? Meu vizinho não precisa saber quanto recebo..

Figura. 5 Comentários no Projeto de Lei PLS 3497-2015

O projeto PLS 387-2011 obrigará as universidades públicas e unidades de pesquisa a criarem arquivos online de acesso livre. O comentário a favor do projeto incentiva a acessibilidade aos trabalhos acadêmicos. Já o comentário contrário comenta sobre a questão de confidencialidade e entra novamente na discussão entre quais informações deveriam ser consideradas públicas e quais deveriam ser privadas.

Voto não. Não de [acesso] livre. Há estudos que envolvem a soberania nacional e não devem ficar expostos a outros países.

Voto sim. Excelente, poderemos ver o que se produz nas universidades do país com nossa [verba] mais facilmente.

Figura. 6 Comentários no Projeto de Lei PLS-387-2011

O projeto PLS-68-2010, modificará o sistema de arquivamento dos votos em urnas eletrônicas e os mecanismos de transparência dos votos. Esse projeto de lei propõe o arquivamento dos votos nas urnas eletrônicas, ou seja, sem impressão de votos, mas com impressão e publicidade dos resultados por urna. Os comentários, tanto SIM como NÃO são contrários ao projeto, mas estão a favor da transparência. O cidadão acredita que o novo processo de arquivamento irá deixar o processo menos transparente possibilitando assim a corrupção e uma possível fraude eleitoral.

Voto não. Imagina que absurdo! Só no Brasil, com uma população alheia a política, que se permite que uma [lei] assim venha a ser proposta. Se esse projeto for aprovado, eles controlarão quem vai ser "eleito" e pronto, senão, pode nos forçar a [votar] em determinado candidato, se os nossos dados ficarem vinculados ao voto, como já é suspeita essa prática lá na Venezuela, onde o governo faz chantagem com o cidadão, prejudicando sua carreira em função do voto de cabresto.

Voto sim. Voto [impresso] por favor!

A presidenta, vetou o projeto de voto [impresso] nas urnas eletrônicas

Figura. 7 Comentários no Projeto de Lei PLS-68-2015

O projeto PLC 370-2010 propõe a instituição das UPP's em territorial nacional, como já discutido no trabalho de 2016 (Engiel, Portugal, leite, 2016), esse projeto foi filtrado erroneamente, ele deveria ter sido removido da lista dos mais transparentes.

O projeto PLS-82-2009 obriga a divulgação das despesas realizadas com publicidade no Diário Oficial e em jornais. O comentário relacionado ao NÃO é a favor da divulgação das informações e assim da transparência, mas não concorda com a forma como é proposta, utilizando o diário oficial e os meios de comunicação o que gera custos para o governo. É proposta a utilização da internet que é grátis.

Voto sim. Concordo com o Eduardo que só na [Internet] é suficiente, MAS acho que é mais importante a [obrigação] da [divulgação] que o detalhe como é feita.

Figura. 8 Comentários no Projeto de Lei PLS-82-2009

O projeto PLC 3305-2008 é sobre a regulamentação da licitação e contratação de serviços de publicidade por parte da administração pública. O comentário relacionado ao SIM é a favor da fiscalização dos gastos públicos. O comentário relacionado ao NÃO é a favor da transparência apenas é contra o gasto público com publicidade.

Voto não. Administração publica, seja qual for, inclusive empresas estatais não deveriam fazer propaganda. Se for [informação] de interesse publico, os jornais, escritos, falados, televisivos fazem sem cobrar nada. O dinheiro é do povo e não deve ser gasto com propagandas para enaltecer o partido que estiver no poder, pois ao final das contas essas propagandas do governo só servem para isso.

Voto sim. Concordo, mas esperamos que seja regulamentações econômicas e com [fiscalizações] permanentes

Figura. 9 Comentários no Projeto de Lei PLC-3305-2008

3.1. Discussão

Analisando os comentários verificamos uma tendência dos cidadãos a serem a favor da transparência. Podemos observar principalmente um incentivo a divulgação de informações, com objetivo de acompanhamento dos gastos públicos – uma maior participação da sociedade que através desses dados pode cobrar posturas do governo e assim contribuir para a diminuição da corrupção. Podemos observar que a maior parte dos comentários é relacionado ao nível 1 da transparência (Cappelli et al., 2010), divulgação da informação, acessibilidade. Os comentários contrários a transparência identificados são relacionados a privacidade, em uma discussão de quais dados devem ser divulgados e quais protegidos. Quando relacionados a gastos públicos a tendência dos comentários é solicitar a abertura, mas quando é citado dados privados, pesquisa, essa questão precisa ser mais analisada e discutida.

Uma característica saliente, é a população querendo ter uma participação maior, ficando mais engajada. A participação através do portal, votando os projetos e discutindo através dos comentários já é um passo para essa sociedade mais participativa, e com certeza a transparência ajuda atingir uma maior participação uma vez que dados e informações são fornecidas e a população pode acompanhar e cobrar por mudanças.

4. Trabalhos relacionados

Baia & Braga (2013) verificaram a presença de atributos de transparência em modelos de requisitos que foram representadas utilizando o framework iStar. No entanto, como existem atributos que não puderam ser mapeados, para esses atributos foram buscados sinônimos que foram extraídos do WordNet¹, um banco de dados lexical, ele agrupa palavras em inglês em grupos de sinônimos, prove definições curtas e exemplos de uso. Pode ser visto como uma combinação de dicionário e thesaurus. Essa estratégia é similar a nossa no sentido de que se procura mais palavras que possam ser uteis com palavras-chave. Contudo, não foram reusadas tais palavras-chave para a nossa estratégia dado que elas estão em inglês.

¹ <http://wordnetweb.princeton.edu/perl/webwn>

Em relação a trabalhos de transparência utilizando portais web como fontes de informação, (Bittencourt et al., 2015) fizeram uso do catálogo de Transparência (ER-PUC-Rio, 2013) para verificar se os portais de ensino superior oferecem transparência baseado em tarefas, uma delas por exemplo “obter endereço da secretaria de um curso específico”. Esse trabalho se relaciona ao nosso no sentido de que o catálogo de transparência é útil como um meio para encontrar qualidades em textos, como também para ajudar na classificação de um artefato quanto ao seu nível de Transparência (Cappelli et al., 2010) .

Finalmente, (Paiva & Revoredo, 2016) fazem o tratamento da grande quantidade de textos existentes em portais web como o Portal da Transparência do Governo Federal. O objetivo desse trabalho é melhorar o grau de transparência, dado que, a mera disponibilização de dados não é suficiente, sendo necessário encontrar formas de estruturar as informações de maneira que seja possível consolidá-las e agrupá-las, para assim serem melhor apresentadas.

5. Conclusão

Este trabalho verificou a demanda por transparência através de mineração de textos e análise qualitativa de comentários relacionados a projetos de lei. A mineração dos textos foi feita de forma automática utilizando ferramentas. Já a análise dos comentários minerados, foi realizada manualmente por um dos autores do trabalho. Os trabalhos anteriores focaram em filtrar os projetos de lei e fazer uma análise deles. Esse trabalho expandiu os estudos para os comentários sobre os projetos, analisando o que os cidadãos comentam sobre a transparência e quais são as suas estatísticas.

Foram minerados 67 comentários relacionados a transparência dos 138 comentários presentes para os 9 projetos de lei (já desconsiderando o projeto que foi minerado incorretamente), isso representa 48,5% dos comentários. Analisando que existiam diversos comentários parabenizando o projeto, ou apenas concordando ou discordando de opiniões em muitos argumentos, podemos considerar esse resultado promissor, mostrando um interesse crescente da população pelo tema.

Sabemos que a amostragem de comentários do site, representa uma pequena parte da população, mas de qualquer forma a amostra examinada nos permite crer que população está engajada para uma sociedade mais transparente. Os cidadãos apoiam projetos relacionados a divulgação de informações, principalmente de gastos públicos e tem o objetivo e intuito de acompanhar esses dados, tornando uma sociedade mais participativa. A ideia de controle social sobre gastos públicos e a abertura de informações é um passo para que os cidadãos sejam mais participativos e assim possam demandar mudanças.

Um trabalho futuro é verificar manualmente os comentários e classificar os que são transparentes e comparar com os filtrados automaticamente para verificar a eficácia do processo de mineração e verificar possíveis melhorias. Outro trabalho futuro é realizar mineração de projetos utilizando outras fontes de palavras-chave que não seja o catálogo de transparência, uma possível fonte é o léxico de transparência de Engiel et al., 2015.

Referências

- Engiel, P., do Prado Leite, J. C. S., and Cappelli, C. Confirmando a Demanda por Transparência: Um Estudo Inicial sobre um Sistema de Avaliação de Projetos de Lei. II Workshop de Transparência em Sistemas, Londrina, Brasil. (2014)
- Engiel, P., Pivatelli, J., Moura, P., Portugal, R., Cesar, J., & do Prado Leite, S. (2015). Um processo colaborativo para a construção de léxicos: o caso da divulgação de transparência. In 18th Workshop on Requirements Engineering-WER.
- Engiel, P., Portugal, R.L.Q., do Prado Leite, J. C. S. Descobrimos projetos de lei relacionados a transparência. IV Workshop de Transparência em Sistemas, Rio de Janeiro - RJ, Brasil. (2016)
- Cappelli C, Leite J.C.S.P, Araujo R. M., . A Importância de um Modelo de Estágios para Avaliar Transparência. Revista do Tribunal de Contas do Município do Rio de Janeiro 45, 2010.
- ER – PUC-Rio, 2013. Disponível em (http://transparencia.inf.puc-rio.br/wiki/index.php/Catálogo_Transparência). Acessado em 20/03/2017.
- Baía, J. W., & Braga, J. L. (2013). Uso de sinônimos na identificação de atributos de transparência. In 16th WER-Workshop em Engenharia de Requisitos (15th CibSE-Congresso Ibero-Americano em Engenharia de Software) (pp. 94-104).
- Forte Neto, F. B., Vilain, P., & de Macedo, F. F. (2015, May). A Customized Checklist for Analyzing Software Transparency in Websites. In Proceedings of the annual conference on Brazilian Symposium on Information Systems: Information Systems: A Computer Socio-Technical Perspective-Volume 1 (p. 47). Brazilian Computer Society.
- Paiva, E., and Kate Revoredo. "Big Data e Transparência: Utilizando Funções de Mapreduce para incrementar a transparência dos Gastos Públicos." XII Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação (2016).

Um Estudo de Caso de Acesso à Opinião do Cidadão no Processo de Construção e Implementação de um Projeto de Cidades Inteligentes em Rio das Ostras

Flavia Bernardini¹

¹Departamento de Computação – Instituto de Ciência e Tecnologia – Universidade Federal Fluminense (UFF)

Campus de Rio das Ostras – Rio das Ostras – RJ – Brazil

fcbernardini@id.uff.br

Resumo. *Atualmente, diversos projetos de Cidades Inteligentes são implementados nas cidades. No entanto, poucas cidades acessam explicitamente a opinião de sua população para verificar as ações a serem executadas. O objetivo deste trabalho é apresentar um estudo de caso, realizado em Rio das Ostras/RJ, para acessar a opinião da população quanto a ações a serem realizadas no contexto do seu projeto de Cidades Inteligentes.*

Abstract. *Nowadays, diverse projects in Smart Cities are implemented in cities. However, few cities explicitly assess its population opinion to verify actions that should be executed. The purpose of this work is to present a case study, conducted in Rio das Ostra/RJ, to assess population opinion related to actions to be executed in its Smart City project context.*

1. Introdução

Diversos projetos para implantação de soluções em Cidades Inteligentes (CIs) têm sido executados ao redor do mundo. Em muitos deles, é possível observar que não é clara a participação popular na tomada de decisão quanto a que aspectos devem ser tratados. A participação popular pode ocorrer por diversos mecanismos, mas só é efetiva se a população tiver ao menos acesso a informações. Segundo [ALÓ 2009], o primeiro degrau da transparência está na acessibilidade à informação. Em cidades, isso se obtém inicialmente por meio da disponibilização de dados abertos em portais públicos. No entanto, em diversos municípios brasileiros, incluindo Rio das Ostras, tal portal não existe. Outros mecanismos de acesso podem ser utilizados, como sessões públicas, questionários virtuais, *living labs*, dentre outros. A dificuldade de quaisquer desses mecanismos é permitir a ampla participação da população em uma cidade. No entanto, iniciativas pilotos também são importantes.

Para promover as diversas práticas de transparência, bem como diversas outras práticas consideradas importantes, do ponto de vista das definições de CIs apresentadas na literatura, foi criada no Brasil a Rede Brasileira de Cidades Inteligentes e Humanas (RBCIH)¹ em 2014, e Rio das Ostras faz parte dessa rede. A intenção do governo

¹ Mais informações sobre a Rede Brasileira de Cidades Inteligentes e Humanas podem ser encontradas em <http://www.redebrasileira.org/>.

municipal foi executar um projeto no município com soluções que vão ao encontro do conceito de CI definido pela RBCIH. Para permitir que a população pudesse se manifestar quanto ao projeto, um grupo de pessoas, capitaneado pela Secretaria de Ciência e Tecnologia (SECTI) do município, e formado por representantes do governo municipal, da Instituição de Ciência e Tecnologia (ICT) local (a UFF), da iniciativa privada local, e da população em geral, planejaram um evento para lançamento do projeto, o III Encontro da Cidade com a Ciência (III ENCIC), em junho de 2016. O evento também objetivou apresentar a definição de CI da RBCIH, e criar um espaço público para discussão e acesso à população quanto suas intenções.

O objetivo deste trabalho é apresentar um estudo de caso que avalia o mecanismo de acesso às informações da população para definição dos rumos do projeto de CIs para o município de Rio das Ostras, utilizado no evento. Para embasar a discussão, são apresentados, na Seção 2, conceitos e definições de CIs nos quais esse trabalho se embasa e conceitos de transparência utilizados; e na Seção 3, uma revisão da literatura quanto a métodos utilizados em diversas cidades do mundo, para permitir o acesso à informação, fornecida pelos cidadãos. Para o desenvolvimento do estudo de caso, descrito na Seção 4, é apresentado como o evento foi planejado e executado, e ao final é apresentada uma análise dos resultados obtidos. Na Seção 5, são apresentadas as conclusões deste trabalho e trabalhos futuros.

2. Conceitos e Definições

2.1. Cidades Inteligentes

Historicamente, o termo “Cidades Inteligentes” surgiu pela primeira vez em 1997, mas se tornou popular somente em 2010. Para [COCCHIA 2014], uma cidade é dita digital quando segue políticas digitais para suprir serviços eletrônicos aos cidadãos por meio do uso das Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs); é dita inteligente quando segue estratégias sustentáveis pelo uso sustentável e com inovação de seus próprios recursos naturais; e é dita inteligente baseada no digital quando segue estratégias sustentáveis usando tecnologias aplicadas a cidades digitais. Já segundo [GIFFINGER e GUDRUN 2010], “uma cidade é inteligente quando seus investimentos em capital humano e social, em transporte urbano e infraestrutura de TIC alimentam o desenvolvimento econômico sustentável e uma melhor qualidade de vida, com sábio gerenciamento de recursos naturais, através do governo participativo”. A partir dessa definição, os autores também propuseram um modelo de referência para avaliação de CIs de médio porte da União Européia. Nesse modelo são consideradas seis principais dimensões para englobar as iniciativas em CIs nas cidades: economia inteligente, mobilidade inteligente, ambiente inteligente, pessoas inteligentes, vida inteligente e governança inteligente. Diversos outros autores também usam essa definição e abordagem de divisão de CIs em seis dimensões.

No entanto, em [DAMERI e ROSENTHAL-SABROUX 2014], os autores afirmam que indicar alguma iniciativa como pertencente a uma única dimensão muitas vezes é difícil, devido a possíveis intersecções entre as dimensões. Por exemplo, um novo sistema de transporte público baseado em baixa emissão de carbono impacta tanto em mobilidade quanto em ambiente inteligente. Assim, em [COCCHIA 2014] é apresentada uma evolução no conceito de CIs. São apresentados quatro componentes

centrais, que devem ser considerados em uma cidade para ser dita mais inteligente – terreno, infraestrutura, pessoas e governo. Esses componentes devem ser abordados sob três aspectos: (i) eficácia, relacionada à capacidade da cidade de suprir efetivamente serviços públicos e privados para os diferentes órgãos da sociedade (cidadãos, companhias e organizações sem fins lucrativos); e para diferentes categorias de cidadãos (estudantes, trabalhadores, idosos, etc); (ii) considerações ambientais, relacionadas à capacidade de medir o impacto do crescimento da cidade na qualidade do ambiente nas áreas urbanas; e (iii) inovação, que sinaliza que uma CI deve usar todas as mais atuais tecnologias para melhorar a qualidade dos seus componentes principais, para entregar melhores serviços e reduzir os impactos ambientais. É importante observar que o trabalho ainda aponta que, em eficácia, deve ser incluído o papel subjetivo de cada parte interessada na definição de inteligente, ou seja, a cidade não é inteligente por si mesma, mas sim deve ser criado valor público para os cidadãos. Também, no aspecto Inovação, deve-se considerar que a tecnologia é um aspecto central da CI, usada no serviço das iniciativas inteligentes para a qualidade de vida na cidade.

Assim, a partir desses conceitos e das características regionais descritas, é necessário escolher uma definição de CI para especificar sua própria visão de estratégia de CI e construir seu próprio modelo de CI, para que o valor agregado aos cidadãos seja discutido e definido. Em [LOMBARDI et al. 2011] foi definido um *framework* baseado no modelo de Hélice Tríplice, para conectar todos os projetos e iniciativas ligados ao conceito de CIs. O modelo de Hélice Tríplice emergiu como um quadro de referência para a análise dos sistemas de inovação baseada no conhecimento, e relaciona as relações múltiplas e recíprocas entre os três principais agentes no processo de criação de conhecimento e capitalização: universidade, indústria e governo. Os autores evoluem o modelo de hélice tríplice para embasar o desenvolvimento de CIs em termos de seus papéis tradicionais e contemporâneos, inicialmente como geradoras de capital intelectual, criadoras de riqueza e reguladoras de normas, com participação da universidade, indústria e governo, respectivamente; para, logo em seguida, definir como cidades que usam tais atributos devem ser inteligentes no apoio ao aprendizado social, capacidades empresariais baseadas no mercado e habilidades de transferência de conhecimentos, necessários para satisfazer as exigências dos seus sistemas de inovação regionais. Uma evolução do conceito de tríplice hélice para inovação em cidades é o modelo de hélice quádrupla [CARAYANNIS e CAMPBELL 2009], e referem-se a novas configurações sociais para a organização da inovação onde o governo, indústria, academia e participantes civis trabalham juntos para cocriar o futuro e conduzir mudanças estruturais muito além do escopo do que qualquer organização ou pessoa poderia fazer individualmente. Uma das maneiras de garantir a implementação do modelo de hélice quádrupla é por meio de *living labs*, ou laboratórios vivos. *Living labs* são apontados no Horizonte 2020 – Programa-Quadro de Investigação e Inovação [EUROPEAN COMMISSION 2011] como o mecanismo que pode abranger dimensões sociais e tecnológicas, simultaneamente, em PPPs – Parcerias-Pessoais-Público-Privadas. Em [SILVA e BITTENCOURT 2015], os autores revisitam conceitos de *living lab*, e apresentam uma sugestão de definição, condensando diversas definições da literatura. *Living labs* podem ser percebidos como uma arena para a inovação, uma estrutura e uma comunidade de longo prazo relacionada a um único projeto, onde experiências, rotinas e condições são construídos para transformar ideias em inovações.

2.2. Acessando os Interesses da População nas Cidades

Diversos trabalhos são encontrados na internet para acesso à opinião e participação de cidadãos para os mais diversos temas em CIs. Para este trabalho, foram selecionados, dentre os diversos trabalhos encontrados, apenas três trabalhos que discutem métodos utilizados para acessar a opinião da população das cidades, tanto para geração de ideias quanto para avaliação de soluções, que mais se aproximam do trabalho desenvolvido descrito neste artigo.

Em [BAKICI, ALMIRALL e WAREHAM 2013] é apresentado um estudo de caso de CI em Barcelona. O objetivo do estudo é ilustrar uma CI em um contexto real enquanto examina sua transformação. O método utilizado para o estudo envolveu entrevistas e análises de sítios na web. No trabalho, os autores afirmam que Barcelona é considerada um caso de sucesso em CIs na Europa, por possuir diversas iniciativas no setor industrial, denominadas distritos inteligentes. Esses distritos possuem uma economia intensamente baseada no conhecimento, o que cria um espaço de relacionamentos sociais entre companhias, instituições, prefeituras e cidadãos, e essa interação leva a uma sociedade do conhecimento. Barcelona também é importante no contexto de CIs por sua tendência em políticas e reformas públicas urbanas. Por esses motivos que o acesso à população, quanto à iniciativa de CIs, pôde trazer luz às políticas públicas urbanas da cidade, auxiliando nas direções futuras. Para isso, Barcelona usa o conceito de *living lab* nos distritos inteligentes, que promovem a inovação nas companhias. Ainda, a prefeitura da cidade também tem um projeto de dados abertos para disponibilizar as informações públicas ao cidadão, incluindo indicadores de território, população e gestão pública, ambiente urbano, dentre outros. Por fim, o gerenciamento da iniciativa de CIs em Barcelona é realizado por várias organizações e departamentos, além do departamento municipal de mobilidade, do instituto municipal de Tecnologia da Informação (TI) e de uma agência de promoção econômica.

Em [MECHANT et al. 2012] é apresentada a importância de uma abordagem orientada na concepção e desenvolvimento de serviços e aplicações inovadoras para cidades. São relatados no trabalho dois estudos de caso realizados em Ghent, na Bélgica, apresentando como diferentes métodos e estratégias foram utilizados na geração e avaliação de conceitos e ideias inovadoras em CIs. Para cada estudo de caso, é apresentado (i) o contexto e a estratégia da política utilizada; (ii) os problemas encontrados e soluções alcançadas; e (iii) as abordagens de e-deliberação utilizadas. O termo “e-deliberação” está relacionado à adoção de práticas para sustentar a democracia participativa. O artigo tem como foco o uso de ferramentas para e-deliberação para gerar ideias em duas diferentes áreas de aplicação em CIs. Para geração de ideias da primeira aplicação, foi utilizada a técnica de brainstorming e um questionário online para cidadãos responderem. A avaliação das ideias também foi realizada em ferramenta online. Os autores avaliaram a eficácia e o impacto das abordagens, concluindo que tanto ambas as estratégias de geração de ideias como a de avaliação funcionam. Para eles, a importância do envolvimento do cidadão desde as primeiras fases do processo adotado foi indispensável por levar a maiores taxas de adoção das soluções desenvolvidas por parte da população.

Para [SCHUURMAN et al. 2012], o conceito inteligente para uma cidade deve ser mais centrada no usuário do que outros conceitos mais tecnológicos, como o

conceito de cidade digital. Assim, os autores apresentam princípios e diferentes manifestações de *crowdsourcing* por meio de (i) uma discussão dos pontos fortes e fracos do *crowdsourcing* para geração e seleção de ideias para inovação em cidades; e (ii) um estudo de caso de geração e seleção de ideias para inovação urbana por meio de uma plataforma on-line. A solução de *crowdsourcing* é comparada a uma geração realizada por especialistas externos. A comparação de ambos indica que usando a multidão como gerador e seletor de ideias inovadoras produz uma longa lista com altos benefícios para o usuário. Porém, as ideias não parecem ser muito inovadoras. Assim, os autores concluem que *crowdsourcing* aparenta ser uma ferramenta útil e eficaz no contexto de inovação inteligente das cidades, mas deve ser utilizada e combinada com outras abordagens de envolvimento do cidadão, como *living labs*. Isso reforça o uso de iniciativas que unem a população presencialmente no processo de construção e implementação de um projeto de CI.

3. Um Estudo de Caso – Acesso à Opinião em Rio das Ostras

Em [TERÁN, KASHINA e MEIER 2016] é apresentado um modelo de maturidade para Cidades Cognitivas, e os autores destacam a importância da interação entre a administração pública e os cidadãos. Assim, utilizam um framework de governo eletrônico (e-gov) para garantir o empoderamento eletrônico por parte da população. Nesse framework, a população somente opina nos projetos após o acesso via portais eletrônicos. No entanto, como apontado por [SCHUURMAN et al. 2012], a participação também pode se dar na evolução do projeto de CI, envolvendo todos os representantes de diversos setores interessados em uma cidade. Isso vai ao encontro do que foi apontado no modelo de Hélice Quádrupla, previamente apresentado. Assim, o sucesso de um projeto de CI em uma cidade depende da participação do cidadão, disponibilizando sua percepção do que é relevante. No caso do Brasil, a RBCIH aponta o conceito de CI para as cidades. Porém, não deixa claro como acessar a opinião do cidadão quanto ao valor agregado do projeto de CI para uma cidade. Um dos objetivos, portanto, do III ENCIC, em Rio das Ostras, foi levar aos cidadãos o conceito de CI da RBCIH, que amplia os conceitos apresentados na Seção 2.1, para tornar explícita a questão “Humana” de um projeto de CI para uma cidade, além de acessar a opinião do cidadão Riostrense quanto ao projeto e às necessidades da cidade.

3.1. Descrição do evento para coleta de opinião dos cidadãos

Antes do evento, foram realizadas diversas reuniões, com diversos integrantes da sociedade, para apresentar conceitos de CIs e possibilidades de inovação e melhoria para a cidade, e criar um espaço de discussão e amadurecimento das necessidades do município pela população. Para as reuniões, foram convidados representantes de diversos setores e associações de moradores. Após as reuniões, foi identificada a necessidade de criação de uma comissão para planejar o evento, em relação (i) à abordagem de lançamento do projeto para o município; (ii) ao levantamento de instituições e organizações que necessitariam ser convidadas; e (iii) ao desenvolvimento do método para coleta das opiniões dos participantes do evento. A comissão foi composta por membros da SECTI do município, professores do ICT local, representantes do comércio local e especialistas em inovação, seguindo os preceitos da abordagem de Hélice Quádrupla, apresentada anteriormente. Foi definido que, para

permitir uma maior participação popular, seria interessante que o lançamento do projeto ocorreria em uma sexta-feira à noite, e que atividades envolvendo a população ocorreria no sábado.

Quanto ao item (i), a secretária da SECTI, juntamente com a comissão, decidiu que deveria haver a participação do presidente e vice-presidente da RBCIH, além dos representantes do governo municipal, para fortalecer o lançamento do projeto. Quanto ao item (ii), o levantamento foi realizado pelos membros da comissão. Quanto ao item (iii), a comissão fez diversas reuniões, somente entre os membros, para alinhamento do método de acesso à população. Inicialmente, a equipe entendeu que, para as atividades com a população no sábado, seria interessante criar Grupos de Trabalho (GT) para discussão dos diversos temas inerentes a CIs. Foi definido ainda que os GTs iriam se reunir no sábado, na parte da manhã, em paralelo, e que, na parte da tarde, os resultados dos trabalhos dos GTs seriam consolidados numa reunião conjunta. Ao final das atividades no sábado, seria redigida uma carta de intenções para assinatura por parte do prefeito do município. Para agrupar os temas inerentes a CIs, foram utilizadas as dimensões definidas por [GIFFINGER e GUDRUN 2010] – economia, mobilidade, ambiente, pessoas, vida e governança inteligentes. Ainda, foi de entendimento comum que um GT seria formado para a dimensão economia, coordenado por um especialista em inovação; outro GT seria formado para englobar as dimensões governança, pessoa e vida inteligentes, coordenado por uma pesquisadora em cultura, uma pesquisadora em tecnologia, e a secretária de saúde do município; outro GT seria formado para a dimensão ambiente, para discutir, inclusive, questões de sustentabilidade, coordenado por um especialista em meio-ambiente; e outro GT para a dimensão mobilidade, coordenado por um pesquisador da área de logística e otimização. Participaram do evento 154 pessoas no lançamento do projeto, e 115 pessoas na execução dos GTs. Após reunião dos GTs, cada GT apontou as ações que devem ser realizadas no âmbito do projeto de CIs:

GT1 – Economia inteligente (8 ações): incentivo às escolas e aos professores para iniciativas em educação, para mudança de consciência em relação à transparência e o papel do cidadão nos processos transformadores da cidade; criação de canais de comunicação eficientes (p.ex., desenvolvimento de apps) para interagir com o cidadão, para amenizar a falta de comunicação; alteração das leis para agilizar os processos de criação de novas empresas; criação de um portal de transparência do município para tornar o acesso às informações eficiente e eficaz; criação de espaços para diálogo entre governo e população, com o objetivo de elaboração de políticas públicas; construção de um conselho de CI, fortalecendo e viabilizando as ações com o poder público; incentivo ao crescimento da economia local, por meio de ações que viabilizem *startups* e empreendedores, por meio de incubação, qualificação e desenvolvimento; continuação do trabalho desenvolvido no evento.

GT2 – Vida, Pessoa e Governança Inteligente (8 ações): o projeto deve ser iniciado com ações voltadas para transparência, com o governo e a governança como eixo central do projeto; ações em cultura e educação devem ter prioridade, pois as outras iniciativas só terão efetividade se o cidadão estiver consciente e apto para a participação; permissão de acesso à informação e à cultura, pois espaços de pronunciamento por parte e para a população é importante; execução de uma caravana cultural, por meio de linguagem lúdica, para mostrar a importância desses processos; desenvolvimento de

procedimentos de base para mudar a cultura da corrupção no Brasil, pois os governantes precisam mudar a maneira de pensar, por meio da modificação da cultura em relação ao governo participativa; construção de um modelo de uma escola inteligente, pois escola é continuidade da casa da criança; ações que envolvem a cultura devem levar em consideração que é uma área antropológica e social, pois as atividades artísticas são expressões últimas da cultura; criação de um fórum, em um conselho de CI, com continuidade dos grupos de trabalho.

GT3 – Ambiente Inteligente (12 ações): construção de mecanismos de maior interação entre os poderes Executivo, Legislativo e Judiciário; construção de mecanismos de incentivo a atividades ligadas à criação de cooperativa(s) de catadores propiciando a geração de empregos com a valorização da mão-de-obra; criação de campanhas contínuas que incentivem práticas de separação de lixo; construção de mecanismos de incentivo à vinda e participação de empresas de gerenciamento de resíduos no município; maior uso de espaços públicos, como ambientes de discussão e reflexão em relação às questões ambientais, por meio de ações atrativas para esse fim; incentivo ao turismo local, de maneira que a população local também seja beneficiada com a prática turística; criação de ações efetivas de educação ambiental contínuas, envolvendo população e governabilidade, no conhecimento e reconhecimento da identidade ambiental local; efetivação de políticas públicas que levem em consideração as questões ambientais; viabilização de ações de responsabilidade social, econômica e ambiental, desenvolvidas para a sociedade, proporcionando o desenvolvimento de sistemas de TICs para gerenciamento e controle dos recursos naturais locais; criação de um núcleo regional de gerenciamento de resíduos sólidos, envolvendo diferentes esferas da sociedade nesse processo, por meio de parcerias entre órgãos públicos e privados, para o desenvolvimento de procedimentos e tecnologias para esse fim; criação de um aplicativo informativo sobre pontos de destinação de resíduos recicláveis, formas de separação, logística de recolhimento, divulgação de ações e iniciativas que visem a minimização da geração de resíduos; desenvolvimento de um sistema de informações geográficas, contemplando informações ambientais, econômicas e sociais.

GT4 – Mobilidade Inteligente (16 ações): construção de calçadas que permitam melhor mobilidade das pessoas; construção de aplicativos colaborativos para que os cidadãos possam ajudar a fiscalização das calçadas; construção de ciclovias em toda a cidade; construção de maneiras de educar o cidadão no seu comportamento no trânsito; ajuste do trânsito na principal rodovia do município, por meio de simulação computacional; uso de simulação computacional para estudos, relativos à construção de uma segunda via principal; adequação do transporte atual, baseados em transportes que apresentem qualidade adequada; integrações de linhas de transporte público; uso de semáforos inteligentes que se ajustem conforme o fluxo de veículos; uso de simulação computacional para melhorias no trânsito, considerando diferentes cenários; desenvolvimento de aplicativos para que o cidadão possa conhecer e fazer melhor uso do transporte público; uso de técnicas computacionais para ajustar linhas de transporte público; uso de marcações para formalizar estacionamento de veículos; proposta e implementação de formas de ajudar o cidadão a encontrar vagas; incentivo à pesquisa acadêmica em parceria com o governo municipal para busca de soluções de mobilidade urbana; planejamento e melhoria da mobilidade urbana para longo prazo, envolvendo setor público, academia, iniciativa privada e cidadão.

3.2. Análise do Resultados Obtidos no Evento

Após a realização do evento, foi construído um questionário na web para que os participantes respondessem e pudessem comentar sobre o evento, que foi respondido por 82 pessoas. Foi observado que: os participantes gostaram da programação do evento (86% dos respondentes); e acharam que (i) a organização do evento foi boa ou excelente (76,8%); (ii) a divulgação do evento foi de média a excelente (90,6%); (iii) o conhecimento dos palestrantes foi de nível médio a excelente (100%); e (iv) as instalações eram boas ou excelentes (80,9%). O grau de satisfação geral do evento foi de médio a excelente (100%). Os respondentes também podiam deixar comentários e opiniões ao final do questionário, e um ponto criticado por mais de um participante foi falta de pontualidade do início das atividades do evento. Um respondente disse que “Todo conhecimento oferecido foi a partir de uma visão elitista. Precisava de um diagnóstico a partir da opinião da população. Não adianta fazer análise acadêmica sem apontar ações. Eventos desse tipo só servem para o Currículo Lattes e queimar dinheiro em final de administração”, o que reforça a necessidade de maior participação popular em diversas atividades. Também foi apontado por alguns respondentes que os temas eram muito genéricos, e que, como continuidade ao evento, seria interessante que ações ocorressem com direcionamentos mais específicos.

Observando o número de ações por GT e por tópico apresentado, pode-se analisar que (i) o número de ações por GT teve uma grande variação; (ii) ao observar as ações individualmente, observa-se que o GT4 foi o que mais apresentou ações pontuais, e uma provável explicação para isso é o perfil das pessoas que participaram do GT4 (diversos participantes que atuam diretamente nos problemas relacionados a mobilidade); (iii) o GT que mais apresentou ações rotuladas por TIC foi o GT4, e a provável explicação também é a mesma do item anterior; e (iv) as TICs podem ser utilizadas também para auxiliar a comunicação entre governo e população, utilizadas em outros trabalhos apresentados na revisão da literatura (Seção 4). A fim de sumarizar os grandes tópicos que deve ser tratados a partir das ações apontadas pelos grupos de trabalho, cada uma das ações foi enumerada para cada GT. Os tópicos são apresentados na primeira coluna da Tabela 1. Ainda nessa tabela, nas colunas dois a quatro são apresentados o número de ações rotuladas por GT (GT1 a GT4) e, entre parênteses, o índice numérico de cada uma das ações, conforme foram rotuladas. Na última coluna, é apresentado o total de ações rotuladas com cada um dos tópicos. Algumas observações importantes no sumário apresentado nessa tabela: (i) educação e comunicação entre governo e população foram dois tópicos apontados por todos os GTs; (ii) era esperado que o GT2, que discutia questões diretamente ligadas ao cidadão, apontasse ações para transparência e participação popular, mas foi interessante observar que também foi apontada pelo GT1 (economia).

4. Conclusões e Trabalhos Futuros

Neste trabalho, é apresentado um estudo de caso para acesso à opinião dos cidadãos de Rio das Ostras (RJ) no processo de construção de um projeto para implementação de

Tabela 1 – Tópicos utilizados para rotular as ações dos GTs

Tópicos	GT1	GT2	GT3	GT4	Total
educação	1 (1)	1 (6)	1 (7)	1 (4)	4
comunicação entre governo e população	4 (2,5,6,8)	2 (3,8)	3 (1,5,10)	1 (16)	10
inovação	2 (3,7)	-	3 (2,4,6)	-	5
transparência e participação popular	1 (4)	1 (4)	-	-	2
cultura	-	3 (4,5,7)	1 (3)	-	4
TIC	-	-	3 (9,11,12)	9 (2,5,6,9-14)	12
governo executivo e legislativo	-	1 (2)	1 (8)	5 (1,3,7,8,15)	7

soluções em Cidades Inteligentes. É apresentado o método utilizado para coleta das opiniões, bem como uma análise das opiniões e ideias sugeridas. Pode-se concluir que o método permitiu coletar a sugestão de diversas ações por parte da população. É importante observar que os itens “transparência” e “uso de TICs” foram abordados pelos diversos Grupos de Trabalho (GTs) do III ENCIC – o GT de Economia apontou como ações a criação de canais de comunicação eficientes para interagir com o cidadão, para amenizar a falta de comunicação e criação de um portal de transparência do município para tornar o acesso às informações eficiente e eficaz; e o GT que tratou assuntos ligados à questão humana apontou que o projeto deve ser iniciado com ações para transparência, com o governo e a governança como eixo central do projeto. A importância do evento realizado está em considerar o papel subjetivo de cada parte interessada na cidade, já que a cidade não é inteligente por si mesma, mas sim criando-se valor público para os cidadãos. Ainda, os resultados obtidos com o evento também levaram em consideração que a tecnologia é um aspecto central da CI, usada no serviço das iniciativas inteligentes para a qualidade de vida na cidade. Ambas as questões, apontadas por [COCCHIA 2014], foram observadas nas ações apontadas pelos GTs.

No entanto, é importante observar que o número de pessoas que participaram no processo foi bastante reduzido, se comparado ao tamanho total da população do município (mais de cem mil habitantes). Ainda assim, todos os grupos apontaram ações para aumentar a comunicação entre governo e população. Isso fortalece a necessidade de ações que vão ao encontro da transparência pública de maneira ativa por parte do governo, que pode ser realizada por meio de ações de governo eletrônico. Esse é o primeiro degrau de transparência que deve ser galgado pelo município, segundo [ALÓ 2009]. No processo realizado para coleta das opiniões, não foi realizado um levantamento mais amplo do perfil dos participantes, considerada uma limitação deste trabalho. Essa informação pode auxiliar a identificar se há algum viés ou relação entre o perfil dos participantes e as ideias sugeridas. Como trabalhos futuros, é necessário avaliar a qualidade das ideias sugeridas em cada um dos GTs, bem como avaliar a rotulação das ideias por tópicos com outras pessoas. Também, é necessário ampliar o acesso à população para aumentar a coleta de opiniões da população, que pode ser realizada tanto pela web quanto por outros encontros presenciais.

Agradecimentos

A autora agradece à SECTI de Rio das Ostras, pelo fornecimento dos dados para o estudo de caso apresentado; e aos avaliadores do evento, por apontar pontos importantes para a melhoria deste trabalho.

Referências

- Aló, C.C. (2009). Uma Abordagem para Transparência em Processos Organizacionais. Tese de Doutorado, PUC-Rio, Brasil.
- Bakici, T.; Almirall, E.; Wareham, J. (2013) A Smart City Initiative: the Case of Barcelona. *J. Knowledge in Economics*, vol. 4, p. 135-148.
- Carayannis, E. G.; Campbell, D. F. J. (2009). ‘Mode 3’ and ‘Quadruple Helix’: toward a 21st century fractal innovation ecosystem. *International Journal of Technology Management*, vol. 46, n. 3, p. 201-234.
- Cocchia, A (2014). Smart and Digital City: A Systematic Literature Review. Chapter 2. In: DAMERI; ROSENTHAL-SABROUX, 2014.
- Dameri, R. P.; Rosenthal-Sabroux, C. (2014). Smart City and Value Creation. Chapter 1. In: DAMERI; ROSENTHAL-SABROUX, 2014.
- Dameri, R. P.; Rosenthal-Sabroux, C. (eds.) (2014). *Smart City: How to Create Public and Economic Value with High Technology in Urban Space*, Springer Verlag.
- European Commission. (2011) A renewed EU strategy 2011-14 for Corporate Social Responsibility. Disponível em: ec.europa.eu/social/BlobServlet?docId=9470. Acessado em 30/03/2017.
- Giffinger, R.; Gudrun, H. (2010) Smart cities ranking: an effective instrument for the positioning of cities? *ACE: Architecture, City & Environ.*, vol. 4, n. 12, p. 7-25.
- Lombardi, P. et al. (2011) An Advanced Triple-Helix Network Model for Smart Cities Performance. *Green and Ecological Technologies for Urban Planning: Creating Smart Cities*. IGI Global, p. 59-73.
- Mechant, P. et al. (2012) E-deliberation 2.0 for smart cities: a critical assessment of two ‘idea generation’ cases. *Int. J. Electronic Governance*, vol. 5, n. 1, 2012.
- Schuurman, D. et al (2012) Smart Ideas for Smart Cities: Investigating Crowdsourcing for Generating and Selecting Ideas for ICT Innovation in a City Context. *Journal of Theoretical and Applied Electronic Commerce Research*, vol. 7, n. 3, p. 49-62.
- Silva, S.B.; Bittencourt, C.C. (2015) Living Labs: Rumo a um Quadro Conceitual. In: XVI Congresso Latino-Iberoamericano de Gestão da Tecnologia – ALTEC 2015.
- Terán, L.; Kashina, A.; Meier, A. (2016) Maturity Model for Cognitive Cities: Three Case Studies. Chapter 3. In: PORTMANE, E.; FINGER, M. (eds.). *Towards Cognitive Cities: Advances in Cognitive Computing and its Application to the Governance of Large Urban Systems*

Sistema Web De Avaliação Da Produção Científica Brasileira (SWAP-BR)

Felipe O. Simões¹, Jacques Duílio Brancher¹

¹Departamento de Ciência da Computação – Universidade Estadual de Londrina
Caixa Postal 10.011 – 86.057-970 – Londrina – PR – Brasil

felipeoliveirasimoes@hotmail.com, jacques@uel.br

Abstract. *Due to the importance of analyzing curricula for decision-making in educational institutions, development agencies and research groups, it becomes necessary ways to evaluate them quickly, transparent and fair. Due to this need, SWAP-BR was developed. It consists of a system capable of evaluating in a broad and automated way the Currículo Lattes of teachers and researchers. For this it uses the Pontuação Qualis (PQ) and Rep-Index as evaluation metrics. In addition SWAP-BR can be adjusted to work with several areas of knowledge, taking into account characteristics of each. Although, he is able to receive the information and parameterizations of the different areas, this paper will only present the results obtained for the area of Computer Science. It can also offer greater transparency in selective processes or evaluation of meritocratic character, which involves analysis of curricula or performance of researchers.*

Resumo. *Devido a importância da análise de currículos para tomadas de decisões de instituições de ensino, agências de fomento e grupos pesquisa, cada vez mais, torna-se necessário maneiras de avaliá-los de forma rápida, transparente e justa. Devido a esta necessidade, foi desenvolvido o SWAP-BR. Que consiste em um sistema capaz de avaliar de maneira ampla e automatizada o Currículo Lattes de docentes e pesquisadores. Para isto ele utiliza a Pontuação Qualis (PQ) e o Rep-Index, como métricas de avaliação. Além disto o SWAP-BR pode ser ajustado para trabalhar com diversas áreas do conhecimento, levando em consideração as características de cada uma. Porém, embora ele esteja apto a receber as informações e parametrizações das diversas áreas, neste trabalho serão apresentados apenas os resultados obtidos para a área de Ciência da Computação. Com ele também é possível oferecer maior transparência em processos seletivos ou de avaliação de cunho meritocrático, que envolvam análise de currículos ou desempenho de pesquisadores.*

1. Introdução

No âmbito acadêmico, a avaliação de currículos é utilizada para selecionar e compor o corpo docente de cursos e programas, para destinar bolsas e recursos para projetos, no processo seletivo para o ingresso de alunos em programas de mestrado e doutorado, e pela Capes na hora de avaliar programas brasileiros de pós-graduação [CAPES 2013b]. Tendo em vistas a importância da avaliação de currículos, o CNPq desenvolveu a Plataforma Lattes, com o objetivo de armazenar, centralizar e divulgar os chamados Currículos Lattes.

Estes por sua vez, se tornaram um padrão nacional no registro da vida pregressa de estudantes e pesquisadores de todas as áreas do conhecimento [CNPq 2016]. Embora

a Plataforma Lattes padronize e disponibilize os currículos, ela por si só, não é capaz de atender a todas as demandas e necessidades de pesquisadores e instituições, como por exemplo, identificação do conceito Qualis das publicações de cada indivíduo, geração de gráficos e estáticas e uma avaliação automatizada de grupo de currículos.

Desta forma surgiram ferramentas como o ScriptLattes [Mena-Chalco et al. 2009], que tenta suprir partes destas necessidades. Este por sua vez consiste em um sistema de prospecção de dados do Currículo Lattes, com o objetivo facilitar a análise e avaliação de um ou mais currículos. Porém ele não fornece meios de avaliar de maneira rápida e direta o desempenho dos pesquisadores, fazendo com que este trabalho seja realizada de maneira manual.

Tendo em vista as necessidades apresentadas, este trabalho descreve o SWAP-BR, que trata-se de um sistema, que possibilita a análise e avaliação automática do Currículo Lattes de pesquisadores da diversas áreas do conhecimento. A principal vantagem em sua utilização em relação às demais ferramentas existentes no mercado, é a implementação do Rep-Index como métrica de avaliação. Que ao contrário de outras métrica como, H-Index [Hirsch 2005], G-Index [Egghe 2006] e fator de impacto do JCR [Garfield 2010], ele tem por objetivo avaliar os diversos aspectos da vida profissional de um pesquisador, como orientações, titulação, bancas e publicações [Cervi et al. 2011].

Outra vantagem oferecida pelo SWAP-BR é a transparência proporcionada nas avaliações dos currículos, nos processos seletivos de candidatos a discentes ou docentes de programas de pós-graduação, para distribuição de bolsas de produtividade fornecidas pelo CNPq, e na avaliação de programas de pós-graduação realizado pela CAPES. Isto porque além do sistema mostrar de forma detalhada a nota de cada um dos aspectos avaliados, é possível compartilhar as informações de forma a torná-las públicas.

2. Modelos e Métricas de Avaliação

Ferramentas que possuem como propósito avaliar ou classificar publicações, ou a reputação e desempenho de pesquisadores, como é o caso do ScriptLattes [Mena-Chalco et al. 2009], Google Acadêmico [Google 2004], Microsoft Academic [Microsoft 2012] e PageRank [Page et al. 1999], todas utilizam-se de modelos e métricas de avaliação. No SWAP-BR os modelos e métricas de avaliação utilizados foram, a Pontuação Qualis e o Rep-Index em conjunto com Rep-Model.

2.1. Pontuação Qualis

Tem por objetivo medir a qualidade e a quantidade da produção intelectual de um pesquisador em um determinado período de tempo. Para isto é necessário obter o conceito Qualis de cada uma das publicações pertencente a determinado pesquisador.

Porém o Qualis não avalia diretamente as publicações, e sim os veículos de divulgação nos quais estes trabalhos foram aceitos [CAPES 2013b]. Desta forma a Pontuação Qualis afere a qualidade de um trabalho baseado na qualidade do seu local de publicação. Mesmo método utilizado pela Capes em suas avaliações.

Para a área de Ciência da Computação, a Capes mantém uma lista com o Qualis tanto de periódicos, quanto de conferências. Ela entende que para a área, as conferência possuem uma relevância semelhante aos periódicos, já que muitas possuem rigorosos

critérios de avaliação. Sendo tradicionalmente utilizados por pesquisadores da área, para a publicação de seus trabalhos [CAPES 2016a].

A Capes avalia todas os veículos de divulgação nos quais houveram publicações relacionadas a docentes de programas de pós-graduação, e submetidos dentro do sistema de coleta de dados chamado Sucupira [CAPES 2016b]. O intuito é classificá-los com algum dos seguintes conceitos Qualis: A1, A2, B1, B2, B3, B4, B5 e C [CAPES 2013b].

Além da normalização em estratos ou conceitos, a Capes também atribui a cada um deles um valor inteiro, que varia entre 0 e 100 de acordo com o grau de relevância de cada um [CAPES 2013a]. A Tabela 1, mostra a relação entre cada um dos conceitos com suas respectivas notas.

Tabela 1. Pontuação dada a cada um dos estratos do Qualis.

Qualis	A1	A2	B1	B2	B3	B4	B5	C
Nota	100	85	70	55	40	25	10	0

A partir dos valores mostrados na Tabela 1, é possível obter o índice Pontuação Qualis (PQ) para cada pesquisador. Para isso é necessário identificar o Qualis de cada uma das publicações que serão avaliados em determinado período de tempo, e então realizar o somatório das notas referentes a seus respectivos Qualis.

2.2. Rep-Model

O Rep-Model foi criado de forma a mapear as diversas atividades inerentes a trajetória acadêmica de pesquisadores das diferentes áreas do conhecimento [Cervi et al. 2013a]. Para isso ele identifica e mapeia um total de 17 elementos, divididos em 5 categorias. Todos eles presentes no cotidiano da maioria dos pesquisadores e facilmente identificáveis no Currículo Lattes. A Tabela 2 mostra os elementos e categorias do Rep-Model.

Tabela 2. Rep-Model - Elementos e Categorias. (Fonte: Adaptado [Cervi 2013])

Categoria	Elemento	Sigla
Identificação (ID)	Nome	NM
	Instituição	INST
	Grau de Instrução	GI
Orientação (ORI)	Orientação de Mestrado	OM
	Orientação de Doutorado	OD
	Orientação de Pós-doutorado	OP
Banca (BAN)	Participação em Banca de Mestrado	PBM
	Participação em Banca de Doutorado	PBD
Comitê (COM)	Membro de Corpo Editorial de Periódico	MCEP
	Revisor de Periódico	RP
Publicação (PUB)	Artigo em Periódico	AP
	Capítulo de Livro	CLIV
	Livro	LIV
	Trabalho Completo em Conferência	TCC
	Pontuação Qualis	HI
	Projeto de Pesquisa	PP
	Software	SOFT

O mapeamento destes 17 elementos, com a possibilidade de agregar novos elementos caso necessário, garante a adaptabilidade deste modelo. Já que desta forma ele é capaz de mapear aspectos da vida profissional de pesquisadores de diferentes áreas. Porém para que a avaliação de um pesquisador seja de fato coerente com sua área, é utilizado um sistema de ponderação de pesos para cada um destes elementos e categorias [Cervi et al. 2013b].

Desta forma cada elemento e categoria recebe um peso coerente com a relevância que ele possui para a área de avaliação. Sendo assim é possível atribuir pesos diferentes para o mesmo elemento. Então se para uma área, um determinado elemento se mostra bastante relevante, basta atribuir um peso maior para ele, enquanto nas demais, ele pode vir a possuí um peso significativamente menor.

2.3. Rep-Index

O Rep-Index consiste em um índice que quantifica a qualidade ou a reputação do trabalho de um pesquisador. Para isso ele utiliza o Rep-Model e seu sistema de pesos para saber quais elementos deverão ser considerados durante os cálculos e a relevância que cada um deles possui para a área do conhecimento [Cervi et al. 2012].

Sendo assim o cálculo para se chegar ao valor do Rep-Index, é realizado a partir da somatória do valor de cada elemento presente no Rep-Model, multiplicado por seus respectivos pesos, juntamente com a somatória de cada categoria, também considerando seus pesos. A Equação 1 exemplifica os cálculos realizados para se alcançar o Rep-Index.

$$Rep - Index_{(R)} = \sum_{i=1}^c \left(\sum_{j=1}^{e_i} \frac{v_j * w_j}{max(v_j)} \right) \quad (1)$$

- R: Refere-se ao pesquisador que se quer identificar a reputação;
- c: Representa o número total de categorias;
- i: Representa o intervalo de 1 até o número total de categorias (c);
- e_i: Representa o número total de elementos;
- j: Refere-se ao intervalo de 1 até o número total de elementos (e_i);
- v: Representa o valor do elemento;
- w_j: Refere-se ao peso do elemento;
- max(v_j): Representa o maior valor do elemento.

Analisando a Equação 1, pode-se observar que cada elemento é multiplicado por seu peso e dividido pelo maior valor apresentado para aquele determinado elemento. Desta forma o Rep-Index gera um valor real e inferior a 100 [Cervi et al. 2013b]. Este valor reflete o desempenho do pesquisador em determinado período de tempo e de acordo com a área de avaliação.

3. SWAP-BR

O SWAP-BR consiste em um sistema web, com o objetivo de automatizar o processo de avaliação de Currículos Lattes. Para isso ele utiliza-se de modelos e métricas que refletem de maneira quantitativa a qualidade e reputação do trabalho de um pesquisador, ao longo de sua carreira ou em um determinado período de tempo.

Ele foi criado para ser um sistema modular, de forma que módulos possam ser acrescentados ou removidos, sem a necessidade de grandes alterações no sistema [Khaliluzzaman and Chowdhury 2016]. Ele consiste em um sistema com 8 (oito) módulos e 35 (trinta e cinco) funcionalidades distintas relacionadas a eles. O diagrama mostrado na Figura 1, consiste no diagrama de caso de uso de alto nível do SWAP-BR. Nele são mostrados módulos e funcionalidades presentes no sistema.

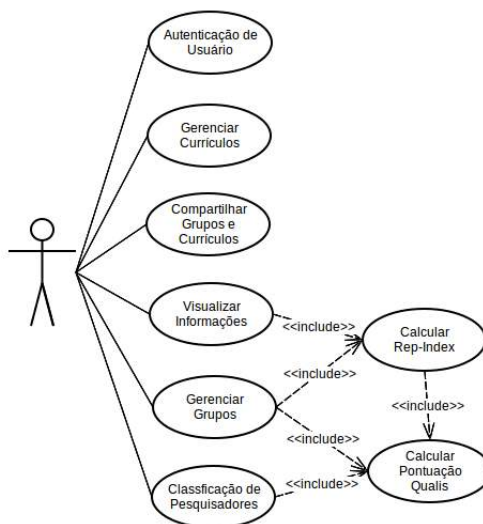


Figura 1. Diagrama de alto nível do SWAP-BR.

O diagrama da Figura 1 representa a interação do usuário com o sistema. Desta forma é mostrado apenas os módulos e funcionalidades com as quais o usuário interage diretamente. Sendo assim os demais módulos e funcionalidades que não aparecem no diagrama, são utilizados de forma indireta por outros. Todos os módulos estão descritos abaixo:

- **Autenticação de Usuário:** Responsável por gerenciar o cadastro e autenticação do usuário no sistema, e realizar o controle de acesso a páginas e funcionalidades.
- **Gerenciar Currículos Lattes:** Cabe a ele gerenciar toda a parte de inclusão e remoção do Currículo Lattes no sistema.
- **Calcular Pontuação Qualis:** Possui a função de identificar o conceito Qualis de cada publicação realizada pelo pesquisador, de acordo com a área de conhecimento. Após isso realiza os cálculos para se alcançar o valor da Pontuação Qualis.
- **Calcular Rep-Index:** Realiza os cálculos necessários para gerar o Rep-Index. Para isto são obtidos os maiores valores para cada elemento, e são calculados o valor para cada elemento e categoria que serão avaliados.
- **Gerenciar Grupos:** Responsável por realizar todo o gerenciamento que envolva a criação, exclusão de grupos. Adicionar e remover pesquisadores ao grupo. Além de mostrar estatísticas, gráficos e avaliações correspondente ao grupo.
- **Compartilhar Currículos e Grupos:** O SWAP-BR permite que currículos e grupos de um determinado usuário seja compartilhado com outros. Este módulo é responsável por gerenciar toda a parte do compartilhamento dentro do sistema.
- **Classificação de Pesquisadores:** A classificação ou *raking* de pesquisadores, permite a criação de uma lista de pesquisadores, a partir da Pontuação Qualis de cada

um. Leva em consideração as áreas e subáreas do conhecimento e o período de tempo analisado.

- Visualizar Informações dos Currículos: Responsável por gerenciar a organização e *layout* de as informações que serão exibidas para o usuário. Este módulo é o encarregado de gerar a maioria das tabelas e gráficos presente no sistema.

4. Experimentos e Resultados Obtidos

Com o objetivo de validar o SWAP-BR, foram realizados alguns testes e experimentos nos quais pode-se constatar que de fato ele supre a necessidade para a qual ele foi desenvolvido, permitindo assim uma avaliação rápida, transparente e coerente com a área de conhecimento avaliada.

Com o objetivo de analisar o desempenho do processo de identificação do Qualis, foi realizado um teste onde verificou-se a taxa de publicações classificadas corretamente, tanto para Artigos em Periódicos (AP) quanto para Trabalhos Completos em Conferências (TCC). Para isso analisou-se o currículo de 47 pesquisadores escolhidos aleatoriamente, dentre os 469 existentes na base de dados. Estes por sua vez correspondem aos docentes de programas de pós-graduação da área de Ciência da Computação, cujo os conceitos variam entre 5 e 7.

Para Artigos em Periódicos (AP), observou-se que 1067 publicações tiveram seus respectivos Qualis classificados corretamente. Outras 52 publicações não tiveram seus Qualis identificados, devido aos periódicos nos quais foram publicados não constarem nas lista da Capes contendo os Qualis de periódicos.

O restante das publicações em AP, não puderam ter seus devidos Qualis identificados, devido a erros no preenchimento do ISBN, contendo inclusive alguns ISBN em branco. O gráfico mostrado na Figura 2 mostra o resultado para a classificação dos Artigos em Periódicos (AP).

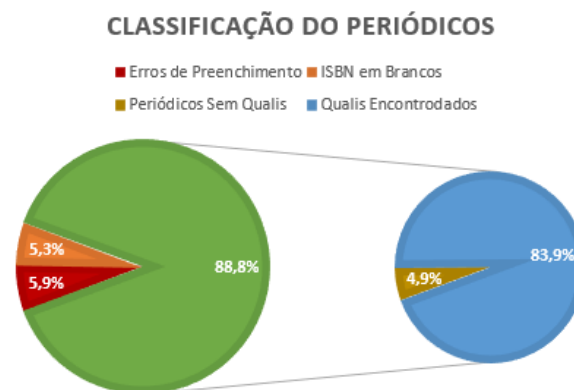


Figura 2. Classificação do Qualis para Artigos em Periódicos.

Analisando a Figura 2 pode-se afirmar que o processo de identificação dos Qualis dos Artigos em Periódicos (AP), utilizando o ISBN como método de comparação, é bastante eficiente e confiável. Sendo capaz de identificar de maneira correta aproximadamente 88,8% dos casos.

Já em relação ao processo de identificação do Qualis para Trabalho Completo em Conferência (TCC), o resultado foi inferior aos obtidos no processo de identificação para AP. Isto ocorre devido aos TCC não possuírem ISBN, obrigando que a busca pelo Qualis seja realizada através do nome do local de publicação. O que dificulta a identificação, devido a falta de padronização no preenchimento deste campo no Currículo Lattes.

Após analisar as 4092 publicações referentes ao elemento TCC pertencente aos 47 pesquisadores. Conclui-se que 47,3% tiveram seus Qualis classificados de maneira correta. Outras 823 publicações, ou seja, 20,1% não tiveram seus Qualis identificados devido a não terem seus veículos de divulgação presentes na lista da Capes, e por isso sendo considerados corretamente avaliados, já que de fato não possuem Qualis.

Outros 3,9% aparentam terem sido preenchidos de maneira incorreta, pois contêm palavras ou frases que não representavam nenhum tipo de sigla ou nome de conferências. E outras 19 publicações, não tiveram seus locais de divulgação preenchidos.

Desta forma pode-se concluir que 71,8% das publicações realizadas em conferências, foram de fato identificadas corretamente. O restante não pode ser classificado devido a dois motivos principais, o primeiro representa um total de 12,4% e está relacionado a erros de escrita, já que diversos veículos de divulgação tiveram seus nomes preenchido com erros, dificultando assim a comparação.

O segundo motivo foi devido a falta de padronização no preenchimentos dos locais de publicação, representando um total de 15,8%. Devido ao preenchimento deste campo no Currículo Lattes ser de maneira livre, existe muita divergência no preenchimento das informações, como por exemplo, termos acrescentados ou removidos e palavras fora de ordem.

Estes problemas dificultam bastante a identificação do Qualis das publicações referentes ao elemento TCC. O gráfico mostrado na Figura 3 representam o resultado do processo de identificação do Qualis para as publicações do elemento TCC.

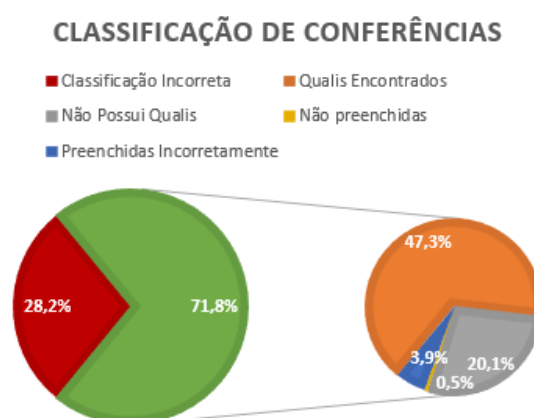


Figura 3. Classificação do Qualis para Trabalhos Completos em Conferências.

Observando o gráfico da Figura 3, pode-se considerar que o processo de identificação do Qualis para Trabalhos Completos em Conferências, é satisfatório, alcançando um total de 71,8% de publicações identificadas corretamente, embora acredita-se que seja possível melhorar estes resultados futuramente.

Também foi realizado outro experimento com o intuito de analisar o desempenho do Rep-Index e da Pontuação Qualis. Para isso utilizou-se todos os 469 docentes presentes na base de dados. Durante o experimento os currículos destes docentes foram colocados em 15 grupos distintos. Onde 12 deles representavam as universidades com as quais os docentes estavam vinculados. E outros 3 grupos representando o conceito Capes a qual estes programas fazem parte.

O objetivo da criação destes grupos foi avaliá-los, de forma a verificar se a Pontuação Qualis e o Rep-Index, estão gerando valores condizentes com o esperado para cada grupo. Sendo que quanto maior o conceito Capes de um programa, maior deverá ser o desempenho médio de seus docentes segundo a Capes [CAPES 2016a].

De forma a analisar a correlação entre os índices Pontuação Qualis e Rep-Index, com o conceito Capes de cada programa. Foi necessário obter a média dos valores para cada um dos três grupos que representam tais conceitos. Dessa forma pode-se verificar que de fato existe uma correlação entre a nota recebida e o conceito capes da qual o docente faz parte, como pode ser observado nas Figuras 4 e 5.

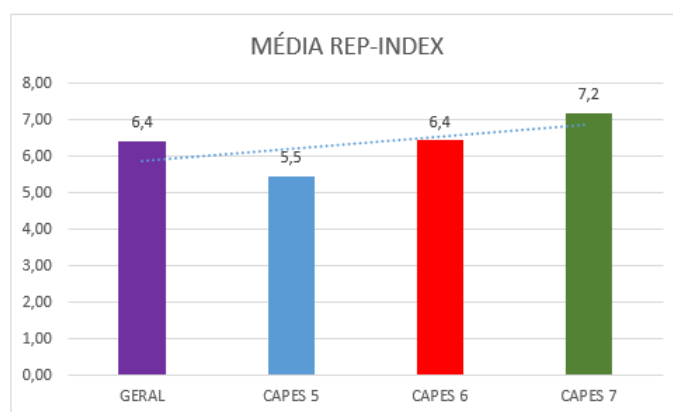


Figura 4. Média do Rep-Index por conceito Capes.

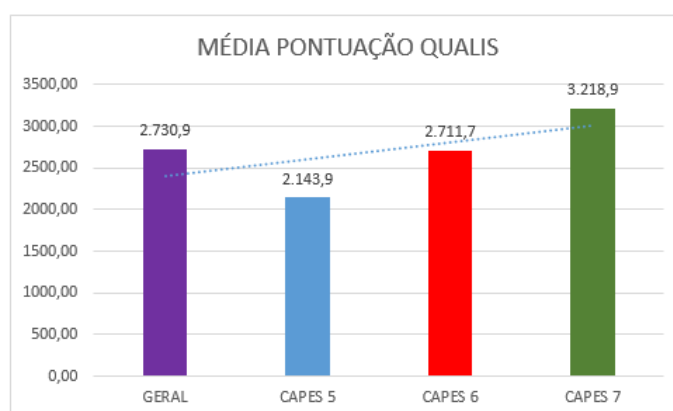


Figura 5. Média da Pontuação Qualis por conceito Capes.

Analisando os gráficos das Figuras 4 e 5, fica claro que quanto maior o conceito do programa, maior a média da Pontuação Qualis e do Rep-index de seus docentes. Porém

embora a produtividade dos docentes estejam diretamente ligado ao conceito de seus programas, este não é o único fator determinante. Como pode ser observado analisando as notas de cada um dos 12 programas, como é mostrado na Tabela 3.

Tabela 3. Descrição dos grupos que representam programas de pós-graduação.

Conceito	Sigla	Rep-Index	Pontuação Qualis	Qtd. de Docentes
5	A5	6,20	2853,75	24
5	B5	4,55	2020,95	21
5	C5	4,73	1613,91	23
5	D5	5,82	2109,67	45
5	E5	5,50	2112,17	23
6	F6	6,18	2783,23	65
6	G6	5,79	2098,97	34
7	H6	7,07	2964,45	64
7	I7	8,42	3465,83	24
7	J7	7,09	3399,89	45
7	K7	7,94	3598,21	53
7	L7	5,83	2506,98	48

Analisando os valores da Tabela 3, é possível notar que existe programas, cuja suas notas ficaram consideravelmente abaixo ou acima da média de seus conceitos. Mostrando que embora a produtividade dos docentes de um programa de pós-graduação seja um importante quesito para a avaliação da Capes, outros critérios de avaliação também exercem grande influência na decisão.

Com isso pode-se observar também, que entre as 12 universidades, apenas 4 delas obtiveram uma pontuação para o Rep-Index acima da média, que foi de 6,43, são elas: H6, I7, J7, K7. Já a universidade L7 embora esteja conceituada no nível mais alto de avaliação da Capes, obteve uma nota de 5,83, ficando assim abaixo da média geral.

5. Conclusão

A proposta de desenvolver uma ferramenta capaz de mapear e avaliar os currículos cadastrados na Plataforma Lattes, de forma transparente, rápida e ampla, independente da área de conhecimento, foi realizada com sucesso, com a criação do SWAP-BR. Neste trabalho foram apresentados suas funcionalidades, característica e resultados obtidos através de sua utilização.

Através dos testes e experimentos foi possível realizar uma análise completa dos docentes de cada um dos programas de pós-graduação. E verificar que a qualidade do trabalho de um pesquisador é fundamental para a definição dos conceitos dos programas, junto a Capes.

Como trabalhos futuros pretende-se automatizar o processo de download e upload do Currículo Lattes para o SWAP-BR, agilizando ainda mais o processo de avaliação. Utilizar algoritmos de inteligência artificial, para definir os elementos do Rep-Model que serão avaliados em cada área e também a fim de definir os pesos de cada um dos elementos de forma automática.

Referências

- CAPES, C. d. A. d. P. d. N. S. (2013a). Documento de Área 2013 - ciência da computação.
- CAPES, C. d. A. d. P. d. N. S. (2013b). Regulamento para a avaliação trienal 2013 (2010-2012).
- CAPES, C. d. A. d. P. d. N. S. (2016a). Documento de Área 2016 - ciência da computação.
- CAPES, C. d. A. d. P. d. N. S. (2016b). Plataforma sucupira.
- Cervi, C. R. (2013). Rep-index : uma abordagem abrangente e adaptável para identificar reputação acadêmica. *UFRGS Lume Repositorio Digital*.
- Cervi, C. R., Galante, R., and de Oliveira, J. P. M. (2011). Identificando a reputação de pesquisadores usando um modelo de perfil adaptativo. In *CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE COMPUTACAO*, volume 31.
- Cervi, C. R., Galante, R., and De Oliveira, J. P. M. (2013a). Comparing the reputation of researchers using a profile model and scientific metrics. In *Computational Science and Engineering (CSE), 2013 IEEE 16th International Conference on*, pages 353–359. IEEE.
- Cervi, C. R., Galante, R., and Oliveira, J. (2012). An adaptive approach for identifying reputation of researchers. In *IADIS International Conference on WWW/Internet, Madrid*.
- Cervi, C. R., Galante, R., and Oliveira, J. d. (2013b). Application of scientific metrics to evaluate academic reputation in different research areas. *World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Social, Behavioral, Educational, Economic, Business and Industrial Engineering*, 7(10):2778–2788.
- CNPq, C. N. d. D. C. e. T. (2016). Sobre a plataforma lattes.
- Egghe, L. (2006). An improvement of the h-index: The g-index. *ISSI newsletter*, 2(1):8–9.
- Garfield, E. (2010). The evolution of the science citation index. *International microbiology*, 10(1):65–69.
- Google (2004). Google acadêmico.
- Hirsch, J. E. (2005). An index to quantify an individual’s scientific research output. *Proceedings of the National academy of Sciences of the United States of America*, pages 16569–16572.
- Khaliluzzaman, M. and Chowdhury, I. I. (2016). Pre and post controller based mvc architecture for web application. In *2016 5th International Conference on Informatics, Electronics and Vision (ICIEV)*, pages 552–557.
- Mena-Chalco, J. P., Junior, C., and Marcondes, R. (2009). Scriptlattes: an open-source knowledge extraction system from the lattes platform. *Journal of the Brazilian Computer Society*, 15(4):31–39.
- Microsoft (2012). Microsoft academic.
- Page, L., Brin, S., Motwani, R., and Winograd, T. (1999). The pagerank citation ranking: Bringing order to the web. Technical report, Stanford InfoLab.

Método TRADIN: transparência governamental com a cooperação da economia digital

Giovanni C. Biffi¹, Eunice P. Santos Nunes², Cristiano Maciel²

¹tradin.org

Av. República do Líbano, 1798 – Cuiabá/MT – Brasil

²Instituto de computação – Laboratório de Ambientes Virtuais Interativos (LAVI)
Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT) – Cuiabá/MT

{gantesbr, eunice.ufmt, crismac}@gmail.com

***Abstract.** Public authorities have been moving towards government transparency. However, open data laws and principles, which take into account citizens' interests and needs, are being neglected in the publishing of government information. The cooperation of the digital economy points the way to the efficiency of government transparency. In this scenario, the method TRADIN (Method for Transparent, Dynamic and Integrated Information Publishing) is herein presented. It provides society with standardized open data, thus enabling the development of integrated services and / or applications.*

***Resumo.** Os poderes públicos têm realizado movimentos em direção a transparência governamental. Contudo, a observância das leis e princípios de dados abertos, que levam em conta os interesses e necessidades do cidadão, está sendo deixada de lado quando se faz a publicação de informações governamentais. A cooperação da economia digital aponta o caminho para a eficiência da transparência governamental. Nesse cenário, este trabalho apresenta o método TRADIN (Método para Publicação Transparente, Dinâmica e Integrada de Informações), que propicia dados abertos de forma padronizada para a sociedade, possibilitando novas produções de serviços e/ou aplicativos integrados.*

1. Introdução

No Brasil, o controle social dos atos do administrador público está previsto em vários dispositivos constitucionais. Conforme Art. 5º, inciso XXXIII da Constituição Federal do Brasil (1988), “todos têm o direito de receber informações das esferas públicas para o seu uso particular e/ou coletivo, observando-se a legislação vigente e o caráter sigiloso das informações em relação à segurança da sociedade e do Estado brasileiro”. Deste modo, Rek (2013) declara que a sociedade deve estar ciente da subordinação da Administração Pública aos princípios que a regem, atuando inclusive como fiscais da “res” pública, utilizando-se dos meios legais e alternativos disponíveis para denúncias e repúdios de corrupção, fraudes e abusos.

As instituições governamentais brasileiras devem permitir o acesso universal às informações, de acordo com a Lei da Transparência nº 131/2009 e a Lei de Acesso à Informação nº 12.527/2011. Não obstante, existem diversas problemáticas, não somente técnicas, mas também éticas e jurídicas, a respeito das propriedades intelectuais, segurança da informação e direito de publicidade de conteúdos. Ressalta-se que uma parte das informações divulgadas nos sítios governamentais não está de acordo com os anseios da sociedade [Araújo; Maia 2014], e não proporcionam a reutilização das informações [Martano; Craveiro 2014]. De acordo com pesquisa sobre Transparência Governamental, nos portais da transparência ocorre um baixo alcance nos níveis de maturidade da transparência, os quais se restringem apenas em atender as conformidades recentes da legislação brasileira [Cappelli et al. 2014].

Os conteúdos disponibilizados nos sítios governamentais precisam prever a transparência dos dados, cujas peculiaridades devem atender a integrabilidade, interoperabilidade, acessibilidade e responsividade, provendo assim serviços que contemplam o cidadão com a ampliação de informações transparentes, eficientes e democráticas [Espíndola; Oliveira; Formiga 2011]. O governo, observando suas limitações, deve prover serviços, disponibilizando dados primários a serem explorados também por outros órgãos públicos e pelas iniciativas privadas. Estas devem criar interações que satisfaçam a sociedade atendendo seus desejos, anseios e necessidades, impulsionando um novo modelo econômico pela internet, a economia digital.

No entanto, são encontradas algumas problemáticas em relação a facilidade de reutilização dos dados, a confiabilidade das informações publicadas e o compartilhamento das informações, de forma automatizada [Bargh, Choenni e Meijer 2015]. Destacamos que a reutilização dos dados pode auxiliar na fiscalização dos recursos públicos, analisar as deficiências na administração pública e melhorar o controle da corrupção.

Por isso, Collin-Williams e Wolfe (2010) investigam como a *World Trade Organization (WTO)* usa a transparência como instrumento de política comercial. Sugerem que transparência reduz as incertezas e a política obtém a confiança necessária de investidores para tomada de decisões nos investimentos. Contudo, a transparência deve ser uma força de reforma, e a informação deve ser analisada e estar amplamente disponível para aqueles que podem influenciar os governos.

Em busca de soluções tecnológicas que melhorem a percepção dos cidadãos em relação a aplicação dos recursos públicos, o compartilhamento de informações precisa considerar além da transparência, sua manutenção e expansão acerca da reutilização das informações [Santos et al. 2016]. Deste modo, há indícios de que a transparência pode acontecer com melhor eficiência se houver a parceria público-privado, ou seja, se a transparência governamental for inserida na economia digital, impactando diretamente na tomada de decisão dos cidadãos.

Nesse cenário, este estudo propõe um método que contempla a publicação dinâmica de informações democráticas e busca a possibilidade de diálogo com o ambiente externo à organização, a fim de alcançar melhores níveis de maturidade em transparência organizacional e estimular a economia digital. Logo, o objetivo deste estudo é apresentar a concepção do método TRADIN, um método para publicação transparente, dinâmica e integrada de informações, integrando as múltiplas fontes de

sistemas de informações internas dos órgãos de governo, a fim de viabilizar o uso destas por outros órgãos governamentais ou outros segmentos da sociedade, de modo transparente, dinâmico, distribuído e integrado.

2. Metodologia

A metodologia empregada nesta pesquisa teve início com uma revisão bibliográfica, a fim de responder a questão de pesquisa “Quais são os protocolos e principais tecnologias disponíveis que estabelecem um ambiente propício para divulgação e reutilização das informações públicas?”. A revisão bibliográfica foi realizada aplicando-se *strings* de busca, combinadas a partir das palavras-chave definidas, nas bases de dados IEEE, ACM, Google Scholar e em anais de conferências da área.

Na sequência, foi elaborado um Mapa Mental, com os principais aspectos do problema. O Mapa Mental buscou compreender quais são as dificuldades e necessidades dos órgãos governamentais e dos ambientes externos em relação à transparência dos conteúdos disponibilizados. O Mapa Mental proporciona benefícios, os quais se sobressaem a organização das ideias e conceitos, pois destacam-se palavras-chave relevantes, agrupam ideias e estimulam a criatividade e inovação [Batista; Silva 2015].

Considerando a importância da integração entre o órgão governamental e o ambiente externo, foi desenvolvido o método TRADIN, suportado por uma ferramenta com o mesmo nome, fazendo uso de diferentes tecnologias. Definiu-se a estruturação das saídas em HTML (*HyperText Markup Language*), RDF (*Resource Description Framework*) e JSON (*JavaScript Object Notation*), como os principais formatos de saída gerados pelos sistemas.

O método de pesquisa qualitativo abordado por Stake (2011) foi adotado para descrever como os objetivos propostos foram alcançados, descrevendo a arquitetura do ambiente, as técnicas de padronização na manutenção dos registros e a comunicação entre os ambientes, de forma integrada.

3. Representação da informação na Internet

A transparência acontece quando o Estado, em seu sentido mais amplo, está aberto e visível ao cidadão [Klein, Luciano e Macadar 2015]. A explicitação de informações, realizada com prontidão e confiabilidade pelo Estado para cidadão, exibindo de modo coeso o que acontece em seu ambiente de competência, é considerada transparência.

Publicar informações com representação padronizada e utilizar tecnologias que permitam sua análise e absorção pelos cidadãos, são questões consideradas relevantes para transparência das informações nos órgãos governamentais. Assim, apresentar os protocolos e principais tecnologias que podem estabelecer um ambiente propício para divulgação e reutilização das informações públicas é indispensável.

Ademais, Washington, Willis e Tauberer (2012) afirmam que as mudanças feitas nos sítios de governo ocorrem lentamente e existem limitações na busca. Os autores debatem o modelo público-privado e discutem opiniões sobre atores não-governamentais que fornecem informações públicas gratuitas e listam os benefícios e desafios de adequar a informação governamental à economia digital.

Em setembro de 2011, o governo brasileiro assinou a Declaração do Governo Aberto, na qual se comprometeu em apresentar planos de ação para atender as expectativas cívicas dos brasileiros, prover o crescente acesso à informação e divulgar suas atividades em todos os níveis dos órgãos públicos. Por meio dos Dados Abertos Governamentais, é possível difundir e incentivar hábitos relacionados à transparência dos dados, à participação social e ao acesso à informação pública. Dados providos pelos órgãos públicos, de forma livre, podem ser utilizados por iniciativas privadas da sociedade civil ou introduzidos em novas produções de serviços e/ou aplicativos em diferentes órgãos de governo [Klein et al. 2015].

O Modelo de Maturidade em Transparência proposto por Cappelli et al. (2014) contempla cinco níveis de transparência organizacional (1. Opaca, 2. Divulgada, 3. Compreendida, 4. Confiável, 5. Examinável). O objetivo do modelo é orientar as organizações no alcance do nível de transparência desejado, seja para informações quanto para processos. No entanto, Cappelli et al. (2014) destacam que diversos portais governamentais estagnaram no Nível 2, da informação divulgada, o que não garante que a informação será entendida, confiável e examinável, o que pode gerar o desinteresse da sociedade. Os autores salientam que são necessários investimentos e empenho das organizações em alcançar o nível “Examinável” (Nível 5), no qual é possível que as informações publicadas pelas organizações sejam examinadas, auditadas e verificadas completamente pelo ambiente externo a organização.

Salienta-se que os níveis de Maturidade de Transparência Organizacional apresentados por Cappelli et al. (2014) se relacionam com os oito princípios de DGA - Dados Governamentais Abertos [Davies 2013], os quais são amplamente aceitos pela comunidade mundial, ou seja, dados abertos têm origem em dados completos, primários, atuais, acessíveis, compreensíveis por máquina, não discriminatórios, não proprietários e de licenças livres.

Destaca-se que é importante buscar características técnicas que padronizem os sítios governamentais, facilitando o acesso à informação. No atual cenário tecnológico, encontra-se uma baixa qualidade dos dados disponibilizados, a não observância das leis e princípios dos dados abertos, a baixa frequência das atualizações das informações, a falta de manutenção das informações e a diversidade de conhecimentos requeridos pelas equipes para atuar nesta área [Cruz et al. 2016].

Mendonça, Maciel e Viterbo Filho (2015) apresentam a arquitetura para a publicação de dados abertos, compostos de sete etapas: obter dados, criar banco de dados relacional, criar ontologias, criar triplas RDF, importar triplas para banco de dados, fornecer triplas em ARC 2 Servidor e exibição em um *mashup*. Os passos para a publicação de dados abertos requerem um único banco de dados relacional, cuja criação ocorre por meio da convergência de bases de dados dos departamentos estaduais e municipais de saúde de Cuiabá, no estado de Mato Grosso. A segunda etapa (criar base relacional) definida no método de Mendonça, Maciel e Viterbo Filho (2015) é questionável se comparada ao segundo princípio definido na DGA, no qual é considerada a publicação de dados primários, sem agregação e com granularidade. A fusão dos dados de duas secretarias na criação de uma única base relacional retira a primariedade esperada dos dados publicados, considerando que os dados originários das

duas secretarias deveriam ser analisados individualmente, para manter-se a primariedade.

De forma mais complexa, Paiva, Revoredo e Baião (2016) apresentam uma arquitetura que propõe uma solução para integração de diversas fontes para a publicação de informações da transparência. Nessa arquitetura, também apoiada em banco de dados, é possível fazer a publicação das informações de transparência. São apresentadas seis etapas, nas quais são realizadas atividades para a publicação das informações, e estas etapas são compreendidas por: ETL (*Extract, transform, load*), DW (*Data Warehouse*), DM (*Data Mart*) Portal / Gestores do Portal, Painel de Controle do DW, BDs (*Data Bases*) Site e Data Marts de outras áreas. No entanto, apresenta limitações em relação a primariedade dos dados publicados, devido a junção de diversas fontes para a criação de uma única fonte de dados para transparência. Nesta arquitetura de solução, existem dois fatores controversos aos princípios estabelecidos na DGA. Em relação ao primeiro fator, observa-se na Etapa 1, compreendida por ETL, na qual acontece a conversão das fontes para um único DW, ocorre a agregação e também a perda de granularidade dos dados por meio dos fatores de conflitos de integração dos dados do Portal da Transparência relacionados por Paiva, Revoredo e Baião (2016). Outro fator polêmico, é a atuação dos gestores do DW, prevista nas Etapas 3 e 4, DW (*Data Warehouse*), DM (*Data Mart*) Portal / Gestores do Portal respectivamente, na qual pessoas gerenciam os dados para publicação. Dessa forma, pode acontecer a incompletude das informações públicas, pois se considera a publicação das informações mais convenientes para o órgão, o que pode ocasionar falhas na interpretação do caráter sigiloso das informações no momento da publicação.

Nota-se que as arquiteturas de publicação de dados abertos propostas por Mendonça, Maciel e V. Filho (2015) e Paiva, Revoredo e Baião (2016), respectivamente, atendem a publicação das informações de transparência, no entanto, focaram suas bases na junção dos bancos de dados das diversas fontes de informação, para em seguida aplicar os tratamentos necessários para publicação, propiciando espaço para surgirem problemas como, por exemplo, baixa velocidade de publicação, centralização de esforços e qualidade das informações disponibilizadas. Isto nos levou a uma reflexão sobre a exiguidade de um método que não focasse no banco de dados, como sugerido por Paiva, Revoredo e Baião (2016), mas sim na consulta dos dados.

Assim, observamos a possibilidade de utilizar os objetos de consulta providos pelos sistemas primários ou arquivos de dados gerados por estes, nos dados convertidos direto da fonte primária em arquivos RDF (*Resource Description Framework*) e JSON (*JavaScript Object Notation*), que poderão ser exibidos nas páginas de transparência dos sítios por meio da construção de requisições HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*), principal protocolo de comunicação da internet.

No protocolo HTTP, trafega a linguagem de marcação interpretada pelos navegadores após o término da requisição, o HTML. Os sítios de transparência devem apresentar um padrão na montagem das páginas que os compõem, no entanto, as páginas usando as *tags* HTML não podem ser interpretadas para a reutilização das informações nelas contidas, pelo fato de não apresentarem o real significado semântico das informações presentes nas páginas. Observa-se então a indispensabilidade de abordar a estruturação de informações exibidas no sítio em formato RDF e/ou JSON, ou seja, a

representação da estrutura dos elementos exibidos numa página HTML também no formato RDF e/ou JSON.

De forma similar, Marx et al. (2012) propõem um *plugin* extensível para o *Integrated Development Environment* (IDE) Eclipse, cujo objetivo é converter dados do RDB (*Relational Database System*) para o formato de arquivo RDF (*Resource Description Framework*), seguindo as recomendações do documento elaborado pela Consórcio *World Wide Web* (W3C) - R2RML: mapeamento linguagem RDB para RDF.

Baseando-se na apresentação de cenários nos estudos de caso realizados pelo W3C, é possível gerar a correspondência de um código de um documento HTML para RDF e JSON. Marx et al. (2012) dizem que devem ser encorajados os esforços para criação de algoritmos para correspondência automática de vocabulário e o fornecimento de suporte para dados relacionais em nuvem. Os autores destacam que a arquitetura proposta deve ser extensível e acolhedora para mudanças que aconteçam.

Portanto, considerar que cada página HTML apresentada no navegador terá um arquivo RDF e/ou JSON correspondente é o princípio básico do método proposto neste estudo. Ambos os formatos, RDF e JSON, devem ser disponibilizados juntamente com a publicação da página HTML para que outras ferramentas e/ou sistemas computacionais possam verificar e consumir as informações, utilizando o formato que julgar mais conveniente, e deste modo possam reutilizá-las por completo.

A manutenção constante das estruturas correspondentes pode garantir o monitoramento das informações publicadas, o compartilhamento, a análise e reutilização. Salienta-se que na revisão de literatura não foram encontrados estudos que abordassem a correspondência de página HTML com RDF e JSON, o que caracteriza singularidade no processo de publicação de informações usando o método TRADIN proposto, a seguir.

4. Método TRADIN

O método proposto neste trabalho está embasado na arquitetura de solução de integração proposta por Paiva, Revoredo e Baião (2016), conforme mostra a Figura 1, buscando uma publicação dos dados primários de forma direta, originados dos sistemas utilizados internamente pelo órgão governamental, eliminando etapas para publicação e distribuindo a responsabilidade na busca pela transparência.

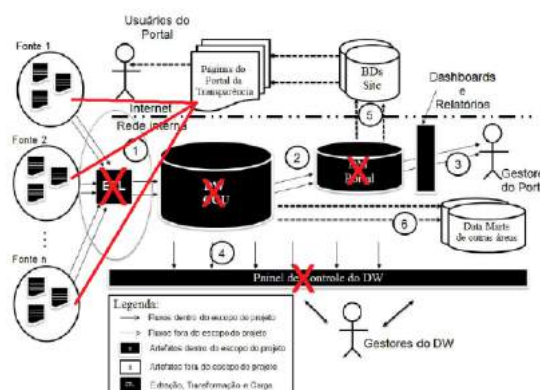


Figura 1. Arquitetura da solução de integração Paiva, Revoredo e Baião (2016) indicando as etapas excluídas com o método TRADIN.

Reformulando a arquitetura proposta por Paiva, Revoredo e Baião (2016), nas fontes primárias de dados deverão ser disponibilizados os objetos de consulta que serão vinculados diretamente nas páginas do Portal de Transparência dos órgãos governamentais, ou seja, a construção da página será efetuada consumindo objetos de consultas presentes em diversos hosts, que, no entanto, serão reunidos numa publicação de página do portal. Os *Dashboards* e Relatórios deverão ser também individualizados nas fontes primárias, e da mesma forma que os objetos de consulta, serão reunidos na publicação da página no Portal Transparência.

Desse modo, a principal contribuição deste trabalho é a proposta do método TRADIN ilustrado na Figura 2. O método está dividido em duas principais visões sendo de um lado o órgão governamental e do outro lado os sítios, navegadores e sistemas computacionais diversos, como descrito a seguir.

O sistema administrativo do portal transparência faz a publicação das páginas no sítio do órgão governamental, compondo a página publicada de elementos vinculados as mídias HTML ou que fazem referência a objetos externos de outros sistemas. Em seguida, notifica os sítios que registraram marcação na página, “Sítios de Destino” (Figura 2). Esses sítios por sua vez também possuem o sistema de administração de publicação de páginas seguindo recomendações do método TRADIN, que importa as informações, caso o administrador do sítio de destino deseje consumir ou replicar aquelas informações recebidas. A página é publicada nos formatos correspondentes (HTML, RDF e JSON) para atender navegadores, sítios e outros sistemas computacionais presentes nesta visão.

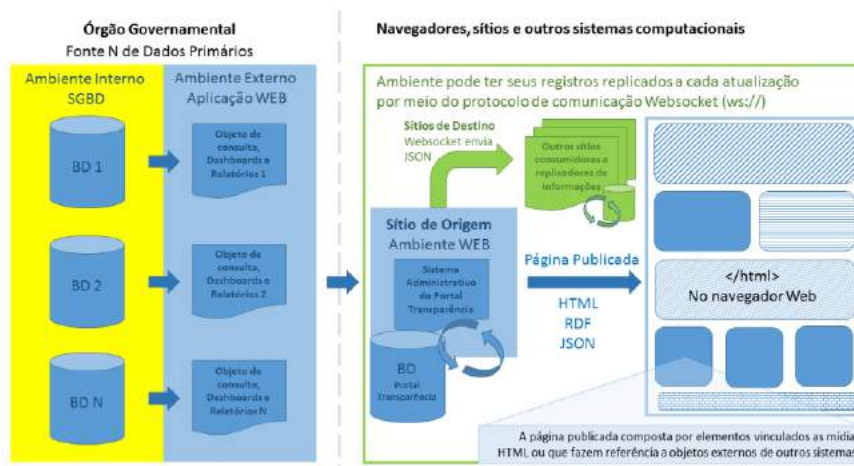


Figura 2. Arquitetura do Método Proposto.

A arquitetura do método TRADIN propõe a construção individual de objetos de consulta, *dashboard* e relatórios para cada SGBD (Sistema Gerenciador de Bando de Dados), criando N fontes de dados primários, ou seja, publicados diretamente da fonte de trabalho. Na construção das páginas do Portal Transparência do órgão e no sistema administrativo do portal, serão vinculados os elementos que compõem a página, com suas mídias HTML e todas as referências das consultas provenientes do SGBD. A cada nova publicação na página, executa-se o evento *Websocket* que envia a mensagem com as informações da página para os sítios de destino cadastrados para receberem informações da referida página. A padronização das informações da página para a troca

de mensagens é definida pelo sítio de origem (Portal Transparência) que deste modo não necessita ter conhecimento sobre os sítios de destino (clientes), bastando apenas comunicá-los.

O protocolo *Websocket* foi escolhido para a comunicação por tratar-se de um protocolo simplificado e ter uma camada sobre o TCP (*Transmission Control Protocol*), na qual se adicionou um modelo de segurança *web* baseada na origem e um esquema de nomenclaturas e endereços, que suportam a multiplicidade de serviços na mesma porta de comunicação e vários *hosts* no mesmo endereço IP [Varela e Loh 2012].

Registros de páginas, elementos e mídias HTML são mantidos no banco de dados, estabelecendo-se o vínculo das últimas com os elementos, em cadastros básicos que irão retornar, após o processamento por linguagem de programação, a saída do HTML no navegador web e dos arquivos RDF e JSON.

Ao gerar todos os formatos de saída (HTML, RDF e JSON), o sítio de origem captura o JSON gerado na publicação da página e envia para os sítios de destino cadastrados para receberem notificações da página específica. Para o envio da mensagem, abre-se uma porta de comunicação entre os servidores de aplicação por meio do protocolo *Websocket* usando a URI do sítio de destino, informada no momento do cadastro de marcação da página no sítio de origem.

A comunicação entre sítios é necessária e vai ao encontro dos anseios do cidadão e dos órgãos governamentais na administração dos recursos públicos. Trata-se de uma metodologia de compartilhamento, fiscalização e processamento de dados realizada por meio de diversos sítios, sejam eles públicos ou privados, obedecendo a um padrão de compartilhamento de conteúdo e dados para análise de forma direcionada. Deste modo, os diferentes segmentos da sociedade poderão acompanhar os dados publicados, com a possibilidade de seleção e registro para recebimento dos dados que são de interesse do cidadão, podendo replicar as informações em seus próprios sítios se assim desejarem.

O protocolo *Websocket* permite a abertura de um canal de comunicação sem depender da abertura de várias conexões HTTP, possibilitando a comunicação em duas vias entre um agente usuário e um *host* remoto, assim é possível prover um mecanismo pelo qual aplicações *web* possam se comunicar de forma bidirecional [Varela; Loh, 2012]. A cada atualização de página, o sítio de origem notifica o(s) sítio(s) de destino por meio do *Websocket*, o qual decide se incorpora a informação em seus registros, podendo optar pela plenitude ou parcialidade da informação, que vem por meio do JSON do sítio de origem.

5. Conclusões

Este estudo apresentou a concepção do método TRADIN como meio de propiciar ambiente adequado para publicação de informações na internet, com alta disponibilidade ao cidadão, escalabilidade de compartilhamento por meio do protocolo de comunicação escolhido, bem como pelos formatos de padronização da estrutura de publicação de informações.

Para validar o método proposto, foram realizados experimentos a partir da prospecção de cenários, a fim de medir o alcance e eficiência do método proposto neste

estudo, de modo prático [Blind Review 2017]. Os experimentos realizados permitiram visualizar o método em relação ao dinamismo e integração dos dados.

Não há como acreditar que o Governo trabalhando sozinho, mesmo com sua grandiosidade, seja capaz de fornecer dados abertos ou realizar a integração dos diferentes dados de diversas fontes sistêmicas, quer seja por falta de interesse, alto custo de gestão ou falta de entendimento para a sua realização. O modelo público-privado mostra-se como uma solução eficiente, devido a amplitude dos atores envolvidos.

A utilização do método TRADIN possibilita ao órgão governamental maior facilidade no alcance do Nível 5 (examinável) do Modelo de Maturidade de Transparência Governamental de Cappelli et al. (2014), atendendo ainda aos oito princípios sobre Dados Governamentais Abertos [Davies 2013].

Pretende-se utilizar o padrão de integrabilidade definido pelo TRADIN por meio do protocolo *Websocket* para iniciar discussões a respeito dos benefícios de desempenho e o alcance da redução de custos de infraestrutura na disponibilização de serviços ao comparar a metodologia de integrabilidade proposta com REST (Representational State Transfer), o principal estilo arquitetural utilizado na atualidade.

Por fim, crê-se que este estudo representa uma importante contribuição para a área de Engenharia Web e Governo Eletrônico e áreas correlatas, que fazem uso de dados oriundos dos órgãos de governo. Em seu contexto geral, o método TRADIN apresenta um padrão alternativo para organização e reutilização das informações na Internet.

Referências

- Araújo, C. L. B. e Maia, L. C. G. (2014) Gestão Pública e Governo Eletrônico: Estudo sobre Sítios institucionais de Prefeituras no Estado de Minas Gerais. Democracia Digital e Governo Eletrônico, Florianópolis/SC.
- Bargh, M. S., Choenni, S., e Meijer, R. (2015) Privacy and Information Sharing in a Judicial Setting: A Wicked Problem. Proceedings of the 16th Annual International Conference on Digital Government Research, Arizona State University.
- Batista, C. e Silva, C. (2015) Um Processo Criativo de Elicitação de Contextos para Sistemas Sensíveis ao Contexto. XI Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação (SBSI), Goiás.
- Brasil. Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil. Texto consolidado até a Emenda Constitucional nº 93 de 08 de setembro de 2016. Brasília, DF: Senado Federal, 2016. DOI: http://www.senado.gov.br/atividade/const/con1988/con1988_08.09.2016/CON1988.pdf. Acesso em 19 de out 2016.
- Cappelli, C., Engiel, P., Leite, J., Asteriotanaka, V., Santos, G. e Benjamim, K. (2014) A Evolução do Modelo de Maturidade em Transparência Organizacional. Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação (SBSI).
- Collins-Williams, T. e Wolfe, R. (2010) Transparency as a trade policy tool: the WTO's cloudy windows. World Trade Review. University of Cambridge, United Kingdom.

- Cruz, W. G. S., Maciel, C., Girata, N. N. H. e Castilho, F. B. M. (2016) Um método quantitativo para avaliar a adoção de Dados Abertos nos Tribunais de Contas do Brasil. *iSys – Revista Brasileira de Sistemas de Informação*, Rio de Janeiro.
- Davies, T. Open Data Barometer 2013 Global Report. World Wide Web Foundation and Open Data Instituto. 2013. Disponível em <http://www.opendataresearch.org/dl/odb2013/Open-Data-Barometer-2013-Global-Report.pdf>. Acesso 14 de nov. 2016.
- Espíndola, C. E., Oliveira, J. B. F. e Formiga, M. M. (2011) A Tecnologia da Informação como meio para facilitar o acesso do Cidadão aos Serviços Públicos. IV Congresso Consad de Gestão Pública, Brasília/DF.
- Klein, R. H., Luciano, E. M. e Macadar, M. A. (2015) Grau de Transparência de Dados Abertos Governamentais: o Portal Governamental Brasileiro dados.rs.gov.br. Twenty-first Americas Conference on Information Systems, Puerto Rico.
- Martano, A. e Craveiro G. (2014) Abertura e Disponibilização de Dados Abertos Governamentais: Estudos de Caso. Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação (SBSI).
- Marx, E., Salas, P., Breitman, K., Viterbo, J. e Casanova, M. A. (2012) RDB2RDF: A relational to RDF plug-in for Eclipse. Software: Practice And Experience. John Wiley & Sons, Ltd.
- Mendonça, P. G. A., Maciel, C. e Filho, J. V. (2015) Visualizing Aedes aegypti infestation in urban areas: a case study on open government data mashups. *Information Polity*, vol. 20, no. 2,3, p. 119-134.
- Paiva, E., Revoredo, K. e Baião, F. (2016) DW-CGU: Integração dos Dados do Portal da Transparência do Governo Federal Brasileiro. *iSys – Revista Brasileira de Sistemas de Informação*, Rio de Janeiro.
- Rek, M. (2013) Os princípios basilares da administração pública e os aplicáveis às licitações. In: *Âmbito Jurídico*, Rio Grande, XVI, n. 116, set 2013. DOI: http://www.ambitojuridico.com.br/site/?n_link=revista_artigos%20leitura&artigo_id=13610. Acesso em 19 de out 2016.
- Santos, R., Cappelli, C., Maciel, C. e Leite, J. C. S. P. (2016) Transparência em Ecossistemas de Software. VII Congresso Brasileiro de Software – Teoria e Prática (CBSOft).
- Stake, R. E. (2011) Pesquisa Qualitativa: estudando como as coisas funcionam. Porto Alegre, RS: Artmed Editora S.A.
- Varela, T. D. R. e Loh, S. (2012) Implementação E Análise Da Utilização De Websockets Em Sistemas Computacionais. Universidade Luterana do Brasil (ULBRA), Rio Grande do Sul.
- Washington, A. L., Willis, D. e Tauberer, J. (2012) Do-it-yourself Transparency: Emerging methods of Congressional information dissemination. The proceedings of the 13th Annual International Conference on Digital Government Resource. College Park, MD, USA.

6° BraSNAM - Brazilian Workshop on Social Network Analysis and Mining

Apresentação

É um prazer anunciar o VI Brazilian Workshop on Social Network Analysis and Mining (BraSNAM). O workshop acontecerá juntamente com o 37o Congresso da Sociedade Brasileira de Computação (CSBC) o qual é o evento oficial da Sociedade Brasileira de Computação. O objetivo do encontro é discutir avanços recentes em mineração e análise de redes sociais. A conferência será realizada em São Paulo (SP), nos dias 04 e 05 de julho de 2017.

O estudo sobre redes sociais tem suas origens em comunidades sociais, educacionais e empresariais. O interesse acadêmico nessa área tem crescido desde a metade do século 20. O crescente aumento no número de usuários Web estimula a interação entre pessoas, disseminação de dados, troca de informação e também aumenta significativamente os dados disponíveis. A partir da mineração e análise de redes sociais, podemos criar ou enriquecer soluções aplicadas à identificação de grupos, identificação de influência, detecção de necessidades, propagação de informações, fluxo da informação, identificação de rumores, etc. Tais soluções podem ser aplicadas a vários cenários como ecossistemas, marketing, segurança, emergência, gestão de equipes, cidades inteligentes e outros totalmente relacionados a “Computação para Tudo e Tod*s”, tema do CSBC 2017. Além disso, este evento tem como objetivo servir como um facilitador na troca de conhecimento e colaboração entre academia e empresas, ligando pesquisadores e profissionais que trabalham na área.

Em sua sexta edição, o BraSNAM recebeu um número significativo de submissões, totalizando 50 artigos submetidos, dos quais foram aceitos 16 artigos completos e 3 artigos resumidos. O processo de revisão foi double blind review e os autores dos melhores artigos serão convidados a submeterem versões estendidas ao Journal of Internet Services and Applications (JISA). Além disso, contaremos com um artigo convidado de coautoria de palestrante dessa sexta edição do BraSNAM.

O BraSNAM oferecerá uma palestra intitulada “Visualização de Software e Interação com Redes Sociais” proferida pela Prof. Claudia Maria Lima Werner (UFRJ). Além disso, teremos o painel “O social em rede: os grandes desafios que a Computação ainda não resolveu” composto por Prof. Altigran Soares da Silva (UFAM, Moderador), Sr. Claudio Pinhanez (IBM Research), Sr. Marcio Gadaleta (Oracle), Sr. Rodrigo Padula (Wiki Educação Brasil) e Sr. Rodrigo Ramalho (Red Hat). Promovendo uma maior discussão e troca de ideias, teremos os seguintes “Bate Papos”: “A Matemática das Redes Sociais” a ser proferido por Prof. Daniel Ratton Figueiredo (UFRJ), “Tie Strength Analysis: New Metrics and Open Problems” a ser proferido por Prof. Michele A. Brandão (UFMG), “Iniciação ao uso de redes sociais via dispositivos móveis por adultos mais velhos” a ser proferido por Prof. Maria da Graça Campos Pimentel (USP) e “Sistemas de Informação na Terceira Plataforma Computacional” a ser proferido por Prof. Clodis Boscarioli (UNIOESTE).

O VI Brazilian Workshop on Social Network Analysis and Mining (BraSNAM 2017) reunirá pesquisadores e profissionais interessados na análise de rede social e áreas afins, e promoverá a colaboração, bem como o intercâmbio de ideias e experiências.

Nós gostaríamos de agradecer aos organizadores do CSBC 2017, em especial ao coordenador geral, Prof. Luciano Silva (Mackenzie); ao diretor de publicações da SBC, Prof. José Viterbo Filho; à Springer; ao periódico JISA e aos seus editores-chefes, Prof. Fabio Kon (IME/USP) e Prof. Gordon Blair (Lancaster University); aos membros do Comitê Diretivo do BraSNAM; e aos membros do Comitê de Programa, revisores, palestrantes, painelistas, autores e participantes dessa sexta edição do BraSNAM.

Tenham um excelente evento!

Giseli Rabello Lopes (UFRJ), Rodrigo Pereira dos Santos (UNIRIO)

Comitê Organizador

Coordenação Geral / Coordenação do Comitê de Programa

Giseli Rabello Lopes (UFRJ), Rodrigo Pereira dos Santos (UNIRIO)

Coordenação Local

Leandro Augusto da Silva (Mackenzie)

Comitê Diretivo

Daniel Figueiredo (UFRJ), Jano Moreira de Souza (UFRJ), Jonice Oliveira (UFRJ), Juliana Valério (UFRJ), Mirella Moro (UFMG), Renata Galante (UFRGS), Roberto Imbuzeiro Oliveira (IMPA), Fabrício Benevenuto (UFMG), Li Weigang (UnB), Giseli Lopes (UFRJ)

Comitê de Programa

Adriano César Pereira (UFMG), Ana Paula Appel (IBM Research - Brazil), Ana Paula Couto da Silva (UFMG), Artur Ziviani (LNCC), Bernardo Pereira Nunes (PUC-Rio), Carla Delgado (UFRJ), Claudio de Farias (UFRJ), Claudio Pinhanez (IBM Research - Brazil), Daniel Figueiredo (UFRJ), Daniel Menasché (UFRJ), Davi Viana (UFMA), Eduardo Borges (FURG), Elisa Hatsue Moriya Huzita (UEM), Elizeu Santos-Neto (Google), Giseli Lopes (UFRJ), Gislaine Camila Leal (UEM), Gustavo Paiva Guedes (CEFET/RJ), Hernane Pereira (SENAI CIMATEC), Humberto Marques (PUC Minas), Igor Wiese (UTFPR), Isabela Gasparini (UDESC), Jairo Souza (UFJF), João Paixão (UFRJ), Jonice Oliveira (UFRJ), José Palazzo Moreira de Oliveira (UFRGS), Juliana Valério (UFRJ), Leandro Silva (Mackenzie), Li Weigang (UnB), Luciana Romani (Embrapa Informática Agropecuária), Luciano Digiampietri (USP), Luiz André Paes Leme (UFF), Marcio Miranda (UFRRJ), Mirella Moro (UFMG), Nazareno Andrade (UFCEG), Pedro Olmo Vaz de Melo (UFMG), Renata Galante (UFRGS), Rodrigo Santos (UNIRIO), Sergio Manuel Serra da Cruz (UFRRJ)

Revisores Externos

Mariele Lanes (FURG), Michele Brandao (UFMG)

Palestras

Visualização de Software e Interação com Redes Sociais

Claudia Maria Lima Werner (UFRJ)

A criação de ferramentas, técnicas e metodologias para a manipulação de grandes massas de dados tem recebido especial atenção tanto das comunidades acadêmicas como industriais, objetivando a descoberta de novas maneiras de tratar a informação de base para a tomada de decisão. Entretanto, fazer uso de recursos de computação para melhorar a percepção e compreensão de informação de software e do software propriamente dito ainda é um desafio, que envolve a identificação de mecanismos apropriados, abstrações adequadas e estudos de simulação da habilidade de percepção e cognição humana. A Visualização de Software, uma subárea da Visualização da Informação, tem como foco de pesquisa a utilização de recursos computacionais para potencializar a percepção, compreensão e assimilação da informação de software e sobre o software pelo usuário, incluindo as interações sociotécnicas. Esta palestra tem como objetivo discutir a área de Visualização de Software e sua interação com Redes Sociais, apresentando alguns dos seus conceitos, técnicas e aplicações no Desenvolvimento de Software, em especial no âmbito de Ecossistemas de Software, e ainda pesquisas em andamento na COPPE/UFRJ e desafios identificados neste contexto.

Bio: Cláudia Maria Lima Werner é doutora pela COPPE/UFRJ (1992) e desde 1994 é professora titular do Programa Engenharia de Sistemas e Computação, na COPPE/UFRJ. É também pesquisadora do CNPq e atua na área de Engenharia de Software há mais de 20 anos, com ênfase nos temas Reutilização de Software, Ensino de Engenharia de Software, Visualização e Ecossistemas de Software. Tem atuado na área de visualização desde 2008 e coordena o Laboratório de Realidade Virtual da COPPE (Lab3D). Possui mais de 300 artigos publicados em conferências e periódicos nacionais e internacionais, além de capítulos de livro. É membro da SBC e do comitê de programa de várias conferências nacionais e internacionais, além de co-editora-chefe do Journal of Software Engineering Research and Development (JSERD) da Springer. Atualmente é Diretora de Assuntos Acadêmicos da COPPE/UFRJ.

A Matemática das Redes Sociais

Daniel Ratton Figueiredo (PESC/COPPE/UFRJ)

A explosão de dados coletados por sistemas de redes sociais online vem permitindo um estudo empírico de diversos aspectos da interação humana que nunca antes foi possível. Entretanto, para melhor compreender os fenômenos que regem a dinâmica das redes sociais online, modelos matemáticos são necessários. Neste sentido, diferentes aspectos de redes sociais online vem sendo representados por modelos matemáticos que são capazes de explicar e prever o comportamento humano. Neste bate-papo iremos apresentar alguns destes modelos mais recentes, discutir resultados, e apresentar alguns desafios em modelar matematicamente o comportamento humano.

Bio: Daniel Ratton Figueiredo possui mestrado e doutorado em Ciência da Computação pela Universidade de Massachusetts Amherst (UMass) obtidos em 2005, mestrado em Engenharia de Sistemas e Computação pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ) obtido em 1999, e bacharelado cum laude em Informática pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) obtido em 1996. Trabalhou como pesquisador (post-doc) na École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), Suíça, entre 2005 e 2007. Em 2007 ingressou na COPPE/UFRJ como Professor Adjunto no Programa de Engenharia de Sistemas e Computação (PESC). Desde 2009 recebe bolsa de Produtividade em Pesquisa do CNPq (nível PQ-2) e desde 2010 recebe bolsa do programa Jovem Cientista do Nosso Estado (FAPERJ). Em 2012 realizou um pós-doutorado na Universidade de Massachusetts Amherst (UMass) com doze meses de duração. Seus principais interesses estão na área de Redes Complexas, em particular, modelagem matemática de sistemas dinâmicos e aplicações na Internet e redes sociais.

Tie Strength Analysis: New Metrics and Open Problems

Michele A. Brandão (UFMG)

The study of social ties has lead to building rigorous models that reveal the evolution of social networks and their dynamism. In this context, a central aspect is the strength of ties, which allows the study of the roles of relationships. Here, besides analyzing the strength of co-authorship ties, we also present a set of metrics and algorithms to measure such strength.

Bio: Michele A. Brandão is PhD in Computer Science at Universidade Federal de Minas Gerais. She is also MSc in Computer Science at Universidade Federal de Minas Gerais and BSc in Computer Science at Universidade Estadual de Santa Cruz. Her main research areas of interest are data science, social networks, data mining and link prediction. Currently, she is substitute professor at DCC/UFMG.

Iniciação ao uso de redes sociais via dispositivos móveis por adultos mais velhos

Prof. Maria da Graça Campos Pimentel (USP)

Smartphones e tablets têm o potencial de melhorar a conectividade dos adultos mais velhos com seus familiares e amigos, em particular via redes sociais. No entanto, muitos adultos mais velhos enfrentam dificuldades para utilizar tais dispositivos e, como resultado, são excluídos de círculos que exigem que eles sejam educados na tecnologia correspondente. Criamos um curso de um ano para ensinar adultos mais velhos a utilizarem smartphones e tablets. Apresentarei os resultados preliminares da oferta do curso ao longo de dois anos e meio: uma visão geral da estrutura do curso, delineamento da demografia típica de nossos alunos, identificação dos aplicativos utilizados mais frequentemente após um semestre de curso de modo geral, e de aplicativos de redes sociais de modo particular. Apresentarei também alguns depoimentos de alunos que realizaram o curso. Considerando, por um lado, a grande inclinação de indivíduos com formação de nível superior para realizar trabalho voluntário e, por outro lado, o grande número de estudantes e de profissionais de computação, experiências como as discutidas neste bate-papo podem ser utilizadas para incluir uma parcela significativa da população como usuários de redes sociais.

Bio: Professora Titular da USP, é Bacharel em Ciências da Computação pela UFSCar, Mestre pela USP, Doutora pela University of Kent, e Livre-docente pela USP. Realizou estágio sabático no Georgia Tech. Tem interesse nas áreas de Engenharia de Documentos, Computação Ubíqua, Interação Usuário-computador e CSCW, com pesquisas aplicadas a Tecnologia Assistiva, TV Digital e Educação. Coordena atualmente projetos financiados pela FAPESP e CNPq, e já coordendou projetos financiados pela CAPES, CNPq, FAPESP, FINEP e MCT/CITIC. Foi Vice-chair e Secretary-Treasurer do ACM SIGWEB. Foi coordenadora da comissão especial em sistemas multimídia e web da SBC, foi membro do Steering Committee do ACM DocEng e atualmente é chair do emeritus steering Committee do ACM DocEng.

Sistemas de Informação na Terceira Plataforma Computacional

Prof. Clodis Boscarioli (UNIOESTE)

A forma como executávamos costumes tão arraigados em nossa sociedade tem se alterado significativamente em ciclos cada vez mais curtos e de intensa migração, principalmente pelo uso de tecnologias computacionais. Estamos vivendo a chamada Terceira Plataforma Computacional, embasada em quatro pilares principais: computação em nuvem, web social, big data e mobilidade. Os Sistemas de Informação nesse contexto ganham complexidade maior, pois além dos componentes analíticos e móveis, não podem estar desarticulados de interação e comunicação entre colaboradores internos e externos, inclusive por meio de redes sociais. Neste bate-papo a ideia é discutir Redes Sociais como um sistema de informação da Terceira Plataforma e seus desafios para a análise e interação com dados.

Bio: Clodis Boscarioli é Professor Adjunto na Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Cascavel, onde atua desde o ano de 2000, no Curso de Ciência da Computação. Docente e orientador nos Programas de Pós-Graduação Stricto Sensu em Ensino - nível de Mestrado Acadêmico e em Tecnologias, Gestão e Sustentabilidade - nível de Mestrado Profissional, ambos na Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Foz do Iguaçu. Possui graduação em Informática e especialização em Ciência da Computação pela Universidade Estadual de Ponta Grossa (1996 e 1999, respectivamente). É Mestre em Informática pela Universidade Federal do Paraná (2002). Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade de São Paulo (2008), e também especialista em Formulação e Gestão de Políticas Públicas pela Escola de Governo do Paraná em parceria com a Universidade Estadual do Oeste do Paraná (2008). Foi criador e tutor do Grupo PETComp (Programa de Educação Tutorial em Ciência da Computação) aprovado pela Sesu/MEC em 2010 até dez/2016. Suas áreas de interesse envolvem, de forma multidisciplinar, Banco de Dados, Interação Humanocomputador, Aprendizado Computacional, Data Mining, Sistemas de Informação e Tecnologias Assistivas no Processo de Ensino-Aprendizagem, além de questões relacionadas ao Ensino de Computação.

O social em rede: os grandes desafios que a Computação ainda não resolveu

Altigran Soares da Silva (UFAM), Claudio Pinhanez (IBM Research), Marcio Gadaleta (Oracle), Rodrigo Padula (Wiki Educação Brasil) e Rodrigo Ramalho (Red Hat)

Nos últimos anos, as áreas de Mineração e Análise de Redes Sociais vêm ganhando um maior destaque devido à quantidade e diversidade de dados que podem ser analisados, à capacidade de processar e resolver análises complexas de uma maneira mais eficiente, ao desenvolvimento de novas soluções para visualizar redes cada vez mais complexas e à aplicação de seus conceitos em outras soluções. Com o subsídio dessas áreas, podemos aperfeiçoar métodos ou técnicas de apoio à contextualização, filtragem, recomendação, identificação de pares, análise de cenários, personalização da informação – questões que os sistemas computacionais atuais, independente do cenário onde são aplicados, precisam lidar. Neste painel, discutiremos os desafios e problemas da mineração e análise de redes sociais no Brasil, reunindo pesquisadores de universidades, empresas e instituições que atuam na área de redes sociais e computação social.

Bio: Altigran Soares da Silva, Professor Associado do Instituto de Computação da UFAM onde atua como pesquisador, professor e orientador. Seus interesses de pesquisa envolvem Gerência de Dados, Recuperação de Informação e Mineração de Dados. Coordenou e participou de projetos de pesquisa que resultaram em mais de 100 publicações. Foi coordenador de comitês de programa de conferências no Brasil e no exterior, tendo participado também como membro de comitês em cerca de 40 conferências e workshops. Foi Pró-reitor de Pesquisa e Pós-Graduação da UFAM (2007/2009), Coordenador Adjunto da área de Computação na CAPES (2011/2013), e é atualmente membro do CA-CC do CNPq. Foi membro da diretoria da SBC (2005/2015) e é atualmente membro do conselho. É co-fundador de empreendimentos de tecnologia, entre eles a Akwan, adquirida pela Google em 2005 e a Neemu, adquirida pela Linx Sistemas em 2015. Em 2013 venceu como orientador o Concurso de Teses e Dissertação da SBC e recebeu Menção Honrosa no Prêmio CAPES de Teses. Recebeu também em 2013 o prêmio de Sócio Destaque da SBC por sua atuação junto às Comissões Especiais. Em 2015 foi ganhador de um “Google Research Award in Latin America” como orientador.

Claudio Pinhanez is a scientist, a professor, and innovator. He currently leads a group of about 20 researchers at the IBM Research laboratory in Brazil focused on the development of next-generation conversational systems. Claudio got his PhD. in 1999 from the MIT Media Laboratory where he did multidisciplinary research on computer vision and narrative-based interactive spaces. Since then he has worked at IBM Research on advanced ubiquitous computing systems, service design, social media analytics and, more recently, multi-user/bot chat systems. He is a Senior Member of ACM, a member of the IBM Academy of Technology, and an associated editor of 3 scientific journals.

Marcio Gadaleta, Formado em Engenharia de Telecomunicações pelo Instituto Militar de Engenharia, cursou o mestrado em Gestão Empresarial, além do MBA em Marketing, na FGV/RJ, também é pós-graduado em Engenharia Econômica e Organização Industrial pela UERJ. Possui diversas certificações, entre elas, as de Predictive Modeler, Project Management Professional e Six Sigma Black Belt. Professor de “Gestão da Informação” da pós-graduação em “Big data: Inteligência na Gestão dos Dados” no PECE/Poli-USP, também foi professor de “Data Mining” e “Inteligência Empresarial” da pós-graduação em “Banco de Dados: Data Warehousing, Data Mining e Gestão do Conhecimento nas Empresas” na PUC/RJ. Foi Gerente de Estratégia Comercial no SAS, Gerente de Inteligência Competitiva na Norwich do Brasil e Gerente de Serviços na IBM. Atualmente é Diretor de Desenvolvimento de Negócios para Big Data & Analytics na Oracle, responsável pelo desenvolvimento de vendas dos produtos em todo o Brasil, incluindo a definição da estratégia, gerenciamento do pipeline e acompanhamento de vendas complexas.

Rodrigo Padula, Mestre em informática pelo PPGCI/UFRJ, é militante na área de software livre e conhecimento aberto desde os anos 2000, atua como coordenador de projetos do grupo Wiki Educação Brasil, representante da Wikimedia Foundation no Brasil onde atua em diversos projetos relacionados à Wikipédia, colaboração online, dados abertos e ciência aberta, organizador do I Congresso Científico Brasileiro da Wikipédia (UNIRIO) e I International Wikipedia Science Conference (que será realizado entre 8-10 de Novembro na UFF).

Rodrigo Ramalho, Formado em Ciência da Computação atua como Arquiteto de Soluções na Red Hat especializado em soluções de middleware. Trabalhou previamente como instrutor e consultor, desenvolvendo e implantando soluções para ambientes críticos em todo Brasil. Apaixonado pela cultura open source está sempre em busca de contribuir e fomentar novos projetos nas comunidades.

Trabalhos aceitos

Utilizando Análise de Sentimentos para Definição da Homofilia Política dos Usuários do Twitter durante a Eleição Presidencial Americana de 2016

Josemar Alves Caetano, Hélder Seixas Lima, Mateus Freira dos Santos, Humberto Torres Marques-Neto

Análise da evolução, impacto e formação de redes nos cinco anos do BraSNAM

Luciano A. Digiampietri, Rogério Mugnaini, José J. Pérez-Alcázar, Karina V. Delgado, Esteban F. Tuesta, Jesús P. Mena-Chalco

Social Capital Inequalities among Postgraduate Students and Social Selection Processes

Neylson J. B. F. Crepalde

Offensive Comments in the Brazilian Web: a dataset and baseline results

Rogers Prates de Pelle, Viviane P. Moreira

Escalonamento multidimensional baseado em redes de árvore geradora mínima como proposta à análise e visualização de dados: uma investigação sobre as ações brasileiras

Alex Quintino Barbi, Gilberto Aparecido Pratavia

Detecção de comunidades em redes complexas para identificar gargalos e desperdício de recursos em sistemas de ônibus

Carlos Caminha, Vasco Furtado, Vlândia Pinheiro, Caio Ponte

Métricas para análise de poder em redes sociais e sua aplicação nas doações de campanha para o Senado Federal brasileiro

Letícia Verona, Jonice Oliveira, Maria Luiza Machado Campos

Uma Abordagem para Detecção de Tópicos Relevantes em Redes Sociais Online

Bruno Á. Souza, Thais G. Almeida, Alice A. Menezes, Carlos M. S. Figueiredo, Fabíola G. Nakamura, Eduardo F. Nakamura

Inferência de idade utilizando o LIWC: identificando potenciais predadores sexuais

Rafael Guimarães Rodrigues, Wladimir Wanderley Pereira, Eduardo Bezerra, Gustavo Paiva Guedes

Classificação de filmes: uma abordagem utilizando o LIWC

Rian Tavares, Gustavo Paiva Guedes

Um Método de Avaliação da Importância de Medidas para Predição da Nota de um Filme

Gilvan V. Magalhães Junior, Roney L. de S. Santos, Raimundo S. Moura

Characterizing Crimes from Web

Márcio V. C. da Silveira, Wladimir C. Brandão

Construção e Análise das Redes Sociais de Personagens dos Filmes da Franquia O Senhor dos Anéis

Victoria Patrícia Aires, Paulo Rodrigo Martins, Fabiola Nakamura

Comparação de Técnicas de Predição de Links em Sub-redes de Coautoria Formada por Currículos da Plataforma Lattes

Douglas V. Santos, Thiago C. Cunha, Antônio B. O. Silva, Fernando S. Parreiras, Orlando A. Gomes

É possível descrever episódios de séries de televisão a partir de comentários online?

Túlio C. Loures, Pedro O. S. Vaz de Melo, Adriano A. Veloso

Análise comparativa da competitividade do Campeonato Brasileiro de Futebol mediante redes complexas

Esteban F. Tuesta, Karina V. Delgado, Adriano S. Barbieri, Cristina B. Alves, Guilherme L. Carvalho, Alan U. Sabino, Lucas A. M. L. Andre, Lucas C. Zanoti, Paula A. Toyota

Classificação de Relações Sociais para Melhorar a Detecção de Comunidades

Jeancarlo C. Leao, Michele A. Brandão, Pedro O. S. Vaz de Melo, Alberto H. F. Laender

Seleção de Técnicas de Mineração de Dados para Segmentação de Mercado

Gabriel G.M.S. de Magalhães, Fernanda Lima, Eduardo F. Santos, Paulo Junior, Lucas Rosa

Uma análise da colaboração científica numa área da pós-graduação brasileira por meio da modelagem estatística de redes sociais usando ERGM: Estudo de caso

Jorge H. C. Fernandes, João P. A. Maranhão, César A. B. de Andrade, Ricardo B. Sampaio

Tie Strength Analysis: New Metrics and Open Problems

Michele A. Brandão, Mirella M. Moro

Utilizando Análise de Sentimentos para Definição da Homofilia Política dos Usuários do Twitter durante a Eleição Presidencial Americana de 2016

Josemar Alves Caetano, Hélder Seixas Lima, Mateus Freira dos Santos,
Humberto Torres Marques-Neto

Programa de Pós-Graduação em Informática
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC Minas)
Belo Horizonte – MG – Brasil – 31980-110

{josemar.caetano, helder.seixas, mateus.freira}@sga.pucminas.br
humberto@pucminas.br

Abstract. *This paper proposes a political homophily analysis among Twitter users during the 2016 US presidential election. We collected tweets, user profiles, and their network for this study over 122 days (08/01/2016 to 11/30/2016). Based on our dataset we considered the sentiment related to the candidates Donald Trump and Hillary Clinton for homophily analysis. The results showed that exist greater homophily among users that share negative sentiment associated with both candidates, higher in the case of candidate Donald Trump. The results also revealed that exists higher heterophily among users that did not express sentiment related to both candidates.*

Resumo. *Este trabalho propõe uma análise da homofilia política entre usuários do Twitter durante a eleição presidencial americana de 2016. Os tweets, perfis de usuários e suas redes de contatos foram coletados para este estudo ao longo de 122 dias (01/08/2016 até 30/11/2016). Considerando a base de dados coletada, o sentimento em relação aos candidatos Donald Trump e Hillary Clinton foi utilizado para a análise da homofilia. Os resultados mostraram que existe maior homofilia entre usuários que compartilham sentimento negativo em relação a ambos candidatos, sendo mais evidente no caso do candidato Donald Trump. Os resultados também mostraram que existe maior heterofilia entre usuários que não manifestaram sentimento em relação aos dois candidatos.*

1. Introdução

As redes sociais *online* são hoje um dos principais ambientes de debate, discussão e troca de informações entre as pessoas. A homofilia, tendência dos indivíduos possuírem características e comportamento similares aos dos seus pares, é um fenômeno já percebido nas redes sociais há algum tempo [Easley and Kleinberg 2010]. As características que os pares, por exemplo amigos, têm em comum vão desde questões não mutáveis como a etnia, até características mutáveis como crenças, profissão [McPherson et al. 2001] e sentimentos a respeito de um assunto [Yuan et al. 2014].

Percebe-se que a política é um assunto recorrente em debates nas redes sociais, o que pode transformar essas redes em um ambiente de forte confronto ideológico e de opiniões [Wang et al. 2012]. A eleição presidencial americana do ano de 2016 caracterizou-se por uma

disputa acirrada, especialmente após as primárias partidárias que resultaram na disputa entre Donald Trump, representante do Partido Republicano, e Hillary Clinton, representante do Partido Democrata¹. Os embates políticos e ideológicos entre os dois candidatos refletiram nas discussões entre seus apoiadores nas redes sociais².

O objetivo deste trabalho é identificar e analisar a homofilia política entre os usuários do Twitter ao longo da campanha presidencial americana de 2016. O discurso político dos usuários foi caracterizado através da análise de sentimentos de *tweets* publicados ao longo do período de coleta. A ferramenta SentiStrength [Thelwall et al. 2010] foi utilizada para extrair o sentimento dos *tweets*. Dessa forma, foi possível analisar se um usuário tem um sentimento favorável (positivo), desfavorável (negativo) ou neutro em relação a cada candidato. Enfim, a principal contribuição deste trabalho é propor uma nova abordagem para a análise da homofilia política no Twitter utilizando a análise de sentimentos como característica para a classificação dos usuários.

Os *tweets*, perfis de usuário e sua rede de contatos foram coletados ao longo de 122 dias (01/08/2016 até 30/11/2016). A coleta teve como ponto de partida a identificação de *usuários sementes*, ou seja, pessoas que estavam comentando sobre a eleição presidencial americana no Twitter em tempo real. Ao todo foram coletados aproximadamente 3,6 milhões de *tweets* de 18.450 usuários distintos do Twitter.

Os resultados obtidos indicaram que a homofilia é um fenômeno presente na base de dados analisada e que ela é mais evidente quando se considera apenas as conexões recíprocas entre os usuários. A homofilia entre usuários que manifestaram sentimento negativo aos candidatos é alta, sendo mais considerável no caso do candidato Donald Trump. Também ocorreu homofilia entre usuários com sentimento positivo em relação aos dois candidatos, entretanto, em menor intensidade. Os resultados mostraram a existência do inverso da homofilia (heterofilia) entre os usuários que não manifestaram opinião em relação aos candidatos.

O trabalho está dividido da seguinte maneira. Na Seção 2 serão apresentados os conceitos básicos para compreensão deste trabalho. Os trabalhos que já propuseram estudar homofilia relacionada ao posicionamento político de usuários de redes sociais *online* são apresentados na Seção 3. A metodologia aplicada na análise de homofilia é explicada na Seção 4 e os resultados obtidos são apresentados e discutidos na Seção 5. Por fim, as conclusões e trabalhos futuros são apresentados na Seção 6.

2. Referencial Teórico

Nesta seção serão apresentados e discutidos os conceitos necessários para o entendimento da metodologia aplicada no presente trabalho. Na Seção 2.1, será apresentado o funcionamento da rede social Twitter e contextualizado seu uso na eleição presidencial americana de 2016. Em seguida, na Seção 2.2 será definido o fenômeno da homofilia e também como são calculados os indicadores necessários para avaliar sua ocorrência.

2.1. Twitter e a Eleição Presidencial Americana de 2016

O Twitter é uma rede social que possibilita a publicação de pequenas mensagens de até 140 caracteres que são chamadas de *tweets* [Giachanou and Crestani 2016]. Lançada em 2006,

¹<https://www.nytimes.com/2016/10/28/us/politics/donald-trump-voters.html>

²<http://www.reuters.com/article/us-usa-election-twitter-idUSKCN12R2OV>

possui, em maio de 2017, cerca de 320 milhões de usuários ativos e é uma das redes sociais mais populares do mundo³.

No Twitter, quando um usuário A cria um vínculo com um usuário B, diz-se que A está seguindo (*following*) B, ou que B tem A como seguidor (*follower*). Diferente de outras redes sociais, no Twitter as conexões entre usuários não são obrigatoriamente recíprocas, ou seja, mesmo que A siga B, isso não implica que B siga A.

O perfil de um usuário no Twitter é composto basicamente pelos seguintes atributos: nome, descrição do perfil, foto e sua localização. A *timeline* de um usuário é o conjunto de *tweets* que ele publicou. Os dois candidatos à presidência nos EUA possuem contas no Twitter e fizeram uso constante da rede durante a eleição de 2016. O candidato republicano Donald Trump é identificado no Twitter pelo nome de usuário @realDonaldTrump e em novembro de 2016 tinha cerca de 17,1 milhões de seguidores, enquanto que a democrata Hillary Clinton, identificada pelo usuário @HillaryClinton, era seguida por aproximadamente 11,6 milhões de usuários em novembro de 2016.

Um *retweet* é um *tweet* publicado por um usuário A que foi compartilhado por um usuário B. Um dos recursos mais utilizados pelos usuários do Twitter são as *hashtags*, que consistem em expressões iniciadas pelo caractere “#” e tem a função de rotular ou resumir um tema em discussão [DeMasi et al. 2016]. Por exemplo, apoiadores de Donald Trump utilizaram as *hashtags* #VoteTrump e #TrumpWon, enquanto que apoiadores da Hillary Clinton utilizaram as *hashtags* #VoteHillary e #NeverTrump.

2.2. Homofilia

O princípio da homofilia é um tema muito estudado pela sociologia [McPherson et al. 2001]. Vários estudos observam o fenômeno da homofilia por características como etnia, idade, gênero, lugares onde viveu, profissão, entre outros [McPherson et al. 2001, Currarini et al. 2009, Easley and Kleinberg 2010]. [Ribeiro and Bastos 2014] propôs um estudo sobre a homofilia entre alunos cotistas e alunos não cotistas de uma Universidade Federal brasileira.

De acordo com [Colleoni et al. 2014] o indicador de homofilia de indivíduos do tipo i é dado por:

$$H_i = \frac{s_i}{s_i + d_i} \quad (1)$$

Onde H_i é o indicador de homofilia, s_i representa o número conexões que ligam indivíduos do tipo i (conexões homogêneas) e d_i representa o número conexões que ligam indivíduos do tipo i com indivíduos de outros tipos (conexões heterogêneas).

[Currarini et al. 2009] utilizam a Equação 1 para o cálculo da homofilia. Porém, eles ressaltam a dificuldade de medir a homofilia simplesmente considerando H_i . Os autores apresentam o seguinte exemplo: seja um grupo A que corresponde a 95% de uma população de uma rede e um grupo B que corresponde aos 5% restantes. Considere que cada grupo tenha um percentual de 96% de amizades homogêneas ($H_i = 0,96$). Comparando o grupo A com o grupo B, embora ambos tenham o mesmo H_i , a homofilia entre os membros do grupo B é maior que a do grupo A, pois a probabilidade de amizades entre membros do grupo B é menor que do a probabilidade de A.

³<http://www.statista.com/statistics/272014/global-social-networks-ranked-by-number-of-users>

Dessa forma, [Currarini et al. 2009] recomenda calcular o indicador de *inbreeding homophily* que é dado por:

$$IH_i = \frac{H_i - w_i}{1 - w_i} \quad (2)$$

Onde IH_i é o indicador de *inbreeding homophily*, H_i é o indicador de homofilia definido na Equação 1 e w_i é probabilidade da ocorrência de indivíduos do tipo i , que consiste no total de indivíduos do tipo i dividido pelo total de indivíduos de uma rede T . Caso H_i seja maior que w_i , então há homofilia.

Retornando ao exemplo anterior, o valor de IH_i para os grupos A e B, são 0,2 e 0,96, respectivamente. Esse resultado demonstra que a métrica *inbreeding homophily* pode ser utilizada para comparar a homofilia relativa entre diferentes populações. Sendo que, quanto maior o valor de IH_i , mais forte é a ocorrência da homofilia.

Ao se analisar o IH_i , o valor zero corresponde a linha de base determinante da homofilia. O inverso da homofilia é chamado de heterofilia, ou seja, quando há predominância de relacionamento entre indivíduos de tipos diferentes. Portanto, neste trabalho a ocorrência de homofilia ou heterofilia é dada pela seguinte condição:

$$\begin{cases} IH_i > 0 & \text{homofilia} \\ IH_i < 0 & \text{heterofilia} \end{cases}$$

3. Trabalhos Relacionados

Alguns trabalhos já propuseram análises da homofilia política no Twitter. [Colleoni et al. 2014] investigaram a homofilia política em uma base de dados de eleitores americanos democratas e republicanos. Utilizou-se aprendizado de máquina e análise da rede social para fazer a classificação da preferência partidária dos usuários. Nesse trabalho foi percebido que em geral os democratas apresentam maior nível de homofilia política quando comparado com os republicanos. Também foi constatado que os níveis de homofilia são maiores quando se considera conexões recíprocas.

[Halberstam and Knight 2016] investigaram como a homofilia política interfere na difusão de informações nas redes sociais. Esse estudo foi desenvolvido utilizando uma base de dados de usuários do Twitter politicamente engajados. Os autores identificaram que usuários ligados a grupos políticos majoritários, quando comparados com usuários de grupos minoritários, têm mais conexões, estão expostos a um maior número de informações e estas informações são recebidas mais rapidamente.

Esses trabalhos demonstraram que a homofilia política é um fenômeno presente no Twitter. Em geral, esses trabalhos consideraram métodos de classificação para caracterizar os usuários como adeptos do Partido Democrata ou Partido Republicano, ou classificaram os usuários de acordo com a orientação política conservadora ou liberal. Diferentemente, neste trabalho, os usuários foram classificados conforme o sentimento que eles expressaram nos *tweets* que eles publicaram a respeito dos candidatos. Portanto, a aplicação da análise de sentimentos é o principal diferencial deste trabalho em relação aos trabalhos anteriores que investigaram o tema da homofilia política no Twitter.

4. Metodologia

Nesta seção, as etapas da metodologia aplicada no presente trabalho serão apresentadas. Primeiramente, a coleta dos dados do Twitter será descrita. Em seguida, o cálculo do sentimento dos *tweets* e os critérios de identificação dos sujeitos de cada *tweet* serão explicados. Por fim, o cálculo da homofilia entre os usuários analisados será apresentado.

4.1. Coleta dos Dados

Os dados considerados neste trabalho foram coletados na rede social Twitter, de 01/08/16 e encerrando em 30/11/16. Ressalta-se que a eleição presidencial americana ocorreu no dia 08/11/16 e que os debates televisionados entre Donald Trump e Hillary Clinton ocorreram nas datas 26/09/16, 09/10/16 e 19/10/16. A API oficial do Twitter⁴ foi utilizada para coletar os *tweets*, perfis de usuário e suas redes de contatos. A API disponibiliza, no máximo, os 200 últimos *tweets* publicados por um usuário.

A coleta teve como ponto de partida a identificação de *usuários sementes*, ou seja, pessoas que estavam comentando sobre a eleição americana no Twitter. Essa identificação foi obtida através do método de *streaming* da API que possibilita a coleta em tempo real de *tweets* e *retweets*.

O principal objetivo da coleta em tempo real foi identificar os usuários que escreveram *tweets* em inglês e que fizeram um *retweet* de algum *tweet* de um dos candidatos. Esse objetivo se baseou na hipótese de que se um usuário faz um *retweet* de um *tweet* de um candidato, então ele leu aquele *tweet* e fez uma citação do que o candidato disse. Desta forma, esse usuário provavelmente está utilizando o Twitter para discutir, ou promover discussão sobre política.

Para cada *usuário semente* foi coletado seu perfil, seus *tweets* e sua rede de contatos (*followers* e *friends*). Também foram coletados os perfis, *tweets* e conexões de cada membro da rede de contatos vinculada a um *usuário semente*. Ao todo foram coletados cerca de 3,6 milhões de *tweets* de 18.450 usuários, sendo 185 *usuários sementes*.

4.2. Análise do Sentimento dos Tweets

O discurso político de um usuário foi caracterizado a partir do sentimento expresso em relação aos dois candidatos em seus *tweets* coletados. A ferramenta para a análise de sentimentos utilizada nesse trabalho foi a SentiStrength [Thelwall et al. 2010]. Essa ferramenta retorna três valores de sentimento associado com cada frase do texto: positivo, negativo e *scale* (diferença entre os valores positivo e negativo). O SentiStrength utiliza a abordagem de análise de sentimentos baseada em lexemas de dicionários. Seu dicionário é composto por 700 lexemas e são utilizadas listas de *emoticons* e *boosting words* (*very*, *most*, *worst*, *best*, etc) para melhorar o desempenho da análise de sentimentos [Giachanou and Crestani 2016]. Contudo, uma das limitações do SentiStrength é não reconhecer sarcasmo [Ferrara and Yang 2015]. Neste trabalho utilizou-se o dicionário padrão do SentiStrength sem modificações.

Durante a análise de sentimentos observou-se que alguns *tweets* continham menções aos dois candidatos ao mesmo tempo. Dessa forma, o texto poderia conter um sentimento muito positivo em relação a um candidato e um sentimento muito negativo em relação ao outro candidato. Essa situação poderia representar um problema para a análise dos sentimentos em relação à cada candidato, pois, os valores dos lexemas se neutralizavam e um *tweet* ficava com

⁴<https://dev.twitter.com/overview/api>

sentimento agregado de valor 0. Para resolver esse problema, foi utilizado o Stanford *Parser*⁵, que é uma biblioteca para análise de linguagem natural desenvolvida pelo grupo de estudos sobre processamento de linguagem natural da Universidade de Stanford [Klein et al. 2003]. Essa ferramenta permitiu identificar os sujeitos do *tweet* e os lexemas associados a eles para fazer o cálculo do sentimento associado a cada sujeito do texto.

4.2.1. Cálculo da Média do Sentimento Manifestado pelo Usuário

A média do sentimento em relação aos candidatos foi calculada para cada um dos 18.450 usuários. O cálculo consistiu na seleção de cada frase dos *tweets* que o usuário havia escrito e que possuíam sujeitos referentes a um dos candidatos. Os candidatos foram identificados por nomes e pronomes associados a eles conforme apresentado na Tabela 1, pois observou-se que existiam vários termos utilizados para se referir aos candidatos além do nome de usuário no Twitter.

Os pronomes somente foram considerados quando no *tweet* em análise também era feita menção a um dos nomes dos candidatos. Por exemplo, se o *tweet* possuía o nome “@realDonaldTrump” e o pronome “He”, então considerou-se que “He” estava associado com “@realDonaldTrump”.

Tabela 1. Nomes e pronomes considerados como menções aos candidatos

<i>Candidato</i>	<i>Nomes</i>	<i>Pronomes</i>
Donald Trump	@realDonaldTrump, Trump, Trumps, Trump's, DT	He, he, him
Hillary Clinton	@HillaryClinton, Hillary, Hillarys, Hillary's, Clinton's, HC	She, she, her

Fonte: Elaborado pelos autores

O processo de calcular a média do sentimento dos usuários em relação aos candidatos resultou em dois *scales*, sendo um referente ao Donald Trump e o outro à Hillary Clinton. Quanto maior o valor, mais positivo é o sentimento e quanto menor o valor mais negativo é o sentimento. A Tabela 2 apresenta a média e o desvio padrão do sentimento dos 18.450 usuários em relação aos candidatos Donald Trump e Hillary Clinton.

Tabela 2. Média e Desvio Padrão dos Sentimentos

	<i>Donald Trump</i>	<i>Hillary Clinton</i>
<i>Média</i>	-0,130	-0,055
<i>Desvio Padrão</i>	0,296	0,334

Fonte: Elaborado pelos autores

Para simplificar a análise dos resultados deste trabalho decidiu-se discretizar os valores numéricos dos sentimentos em relação aos candidatos em valores categóricos (Tabela 3). Usuários com média de sentimento maior que 1 ou com média de sentimento menor que -1 representaram apenas 0,87% dos usuários analisados.

⁵<http://nlp.stanford.edu/software/lex-parser.shtml>

Neste trabalho assume-se que um usuário tem um sentimento positivo em relação a um candidato quando a média do sentimento for maior que 0 e que um usuário tem sentimento negativo em relação a um candidato quando a média for menor que 0. Quando a média do sentimento tiver valor 0, considera-se que há sentimento neutro em relação ao candidato. Se um usuário não tiver *tweets* mencionando um dos candidatos (valor nulo), então diz-se que o sentimento não foi manifestado.

Tabela 3. Discretização dos valores dos atributos de média do sentimento

<i>Valor da média do sentimento</i>	<i>Atributo categórico</i>
Valor nulo	Sentimento não manifestado
Valor menor que 0	Sentimento negativo
Valor igual a 0	Sentimento neutro
Valor maior que 0	Sentimento positivo

Fonte: Elaborado pelos autores

A Tabela 4 apresenta a distribuição de usuários nas categorias definidas na discretização (Tabela 3). A categoria “Sentimento não manifestado” apresentou 55,50% e 65,30% para Donald Trump e Hillary Clinton, respectivamente. Isso mostra que mais da metade dos usuários não publicaram *tweets* em relação aos candidatos.

Usuários com sentimento negativo ao Donald Trump representaram 27,42% dos usuários analisados, mais que o dobro dos usuários com sentimento negativo em relação à Hillary Clinton (12,36%). A categoria “Sentimento neutro” compreendeu 12,65% e 15,54% dos usuários com sentimento em relação ao Donald Trump e Hillary Clinton, respectivamente. A categoria “Sentimento positivo” possui a menor quantidade de usuários (4,43% e 6,80% para Donald Trump e Hillary Clinton, respectivamente).

Tabela 4. Sentimento dos usuários em relação aos candidatos

	<i>Donald Trump</i>	<i>Hillary Clinton</i>
<i>Sentimento não manifestado</i>	10.240 (55,50%)	12.047 (65,30%)
<i>Sentimento negativo</i>	5.059 (27,42%)	2.281 (12,36%)
<i>Sentimento neutro</i>	2.334 (12,65%)	2.868 (15,54%)
<i>Sentimento positivo</i>	817 (4,43%)	1.254 (6,80%)

Fonte: Elaborado pelos autores

Observa-se que as categorias de sentimento em relação aos candidatos não são equilibradas. Por exemplo, existem mais usuários com sentimento que favorece a Hillary Clinton do que o Donald Trump. Contudo, isso não implica em um problema para a realização deste trabalho, pois, a *inbreeding homophily* (Equação 2) leva em consideração a proporção de cada tipo de usuário conforme apresentado na Seção 2.2.

4.3. Cálculo da Homofilia

Para cada valor dos atributos da média do sentimento em relação aos candidatos foi calculado o H_i (Equação 1). A partir de H_i , o indicador IH_i (Equação 2) também foi calculado. Esse indicador é utilizado para comparar o resultado da homofilia entre diferentes atributos. Por

exemplo, comparar se a homofilia entre os usuários com sentimento positivo em relação à Hillary Clinton é maior quando comparado com os usuários que têm sentimento positivo em relação ao Donald Trump.

Neste trabalho, dois cenários foram considerados para a análise da homofilia dos usuários. O primeiro cenário é uma análise a partir de quatro classes de sentimento e o segundo cenário é uma análise que considera seis classes de sentimento com o intuito de representar melhor o do domínio do problema.

As quatro classes do primeiro cenário foram escolhidas de acordo com as categorias definidas na discretização. As seis classes do segundo cenário (Tabela 5) foram definidas a partir da interseção dos usuários pertencentes à cada classe de sentimento em relação ao candidato do primeiro cenário .

Ressalta-se que no primeiro cenário, cada usuário pertence a duas classes de sentimento: uma em relação ao Donald Trump e a outra em relação à Hillary Clinton. No segundo cenário, cada usuário pertence a somente uma classe de sentimento. A Tabela 5 apresenta o nome, descrição e total de usuários de cada uma das seis classes definidas para o segundo cenário de análise.

Tabela 5. Definição das Seis Classes

Classe	Descrição	Total
Não manifestado	Sentimento não manifestado ao Donald Trump e Hillary Clinton	9.811 (53,18%)
Neutro	Sentimento neutro em relação ao Donald Trump e Hillary Clinton	2.278 (12,35%)
Crítico ambos	Sentimento negativo em relação ao Donald Trump e Hillary Clinton	1.750 (9,49%)
Pró Trump	Sentimento positivo em relação ao Donald Trump e sentimento diferente de positivo em relação à Hillary Clinton; ou sentimento negativo em relação a Hillary Clinton e diferente de negativo em relação ao Donald Trump	1.001 (5,43%)
Pró Hillary	Sentimento positivo em relação à Hillary Clinton e sentimento diferente de positivo em relação ao Donald Trump; ou sentimento negativo em relação ao Donald Trump e diferente de negativo em relação à Hillary Clinton	3.509 (19,00%)
Favorável ambos	Sentimento positivo em relação ao Donald Trump e Hillary Clinton	101 (0,55%)

Fonte: Elaborado pelos autores

A classe “Não manifestado” contém 53,18% dos usuários. Isso mostra que mais da metade dos usuários não publicaram nenhum *tweet* em relação a ambos candidatos e fazem parte da rede de contatos dos *usuários sementes* (conforme definido na Seção 4.1). A classe “Neutro” contém 12,35% do total de usuários. Essa classe corresponde aos usuários que tiveram sentimento neutro em relação a ambos candidatos.

A classe “Crítico ambos” representa os usuários com sentimento negativo em relação a ambos candidatos e contém 9,49% do total de usuários. A classe “Pró Trump” consistiu de

usuários com sentimento que favorece o candidato Donald Trump e desfavorece a candidata Hillary Clinton. Essa classe contém 5,43% do total de usuários. A classe “Pró Hillary” contém 19,00% dos usuários. Essa classe contém usuários que têm sentimento que favorece a candidata Hillary Clinton e desfavorece o candidato Donald Trump. A classe “Favorável ambos” consistiu de usuários com sentimento positivo em relação a ambos candidatos e compreendeu 0,55% dos usuários.

Para cada cenário analisado, dois valores de IH_i foram calculados. No primeiro cálculo considerou-se todos os tipos de conexões entre os usuários (conexões gerais). No segundo cálculo considerou-se somente as conexões recíprocas entre os usuários conforme definido na Seção 2.1. A escolha de utilizar os dois valores de IH_i foi motivada pelo resultado obtido por [Colleoni et al. 2014], onde percebeu-se que a homofilia entre usuários com conexões recíprocas é maior quando comparada com a homofilia de conexões gerais.

5. Resultados e Discussão

Nesta seção os resultados dos cálculos da homofilia obtidos através da metodologia explicada na Seção anterior serão apresentados e discutidos. As subseções seguintes apresentam discussões dos resultados nos dois cenários considerados neste trabalho e as possíveis limitações da metodologia aplicada.

5.1. Análise da Homofilia do Primeiro Cenário

Neste cenário a homofilia considerando as quatro classes de sentimento é analisada. Conforme apresentado na Tabela 6, nota-se que houve homofilia entre os usuários da classe de sentimento “Negativo” e “Positivo” (para ambos candidatos) e que houve heterofilia nas classes “Não manifestado” e “Neutro” (para ambos candidatos). Nota-se também que a intensidade da homofilia nas classes de sentimento “Negativo” e sentimento “Positivo” em relação aos candidatos aumenta quando se analisa apenas as suas conexões recíprocas.

Tabela 6. Resultado da homofilia nas quatro classes de sentimento

<i>Candidato</i>	<i>Classe</i>	<i>IH_i das conexões gerais</i>	<i>IH_i das conexões recíprocas</i>
Trump	Não manifestado	-1,160	-1,144
	Negativo	0,377	0,518
	Neutro	-0,109	-0,124
	Positivo	0,039	0,039
Clinton	Não manifestado	-1,721	-1,768
	Negativo	0,116	0,144
	Neutro	-0,056	-0,057
	Positivo	0,039	0,052

Fonte: Elaborado pelos autores

O maior grau de homofilia ocorreu entre usuários que publicaram *tweets* com sentimento negativo em relação ao Donald Trump (possíveis apoiadores da Hillary). Entre usuários que publicaram *tweets* com sentimento negativo em relação à Hillary Clinton (possíveis apoiadores do Trump) ocorreu o segundo maior grau de homofilia. Isso indica que a rede de usuários com sentimento negativo em relação a um candidato é formada por usuários mais conectados entre si.

Também houve homofilia na classe de sentimento “Positivo” em relação a ambos candidatos. Entretanto, com menor expressividade em relação à classe “Negativo”. Nas demais classes (“Não manifestado” e “Neutro”), houve a ocorrência de heterofilia. Ressalta-se que houve maior grau de heterofilia na classe “Não manifestado”. Isso demonstra que usuários com sentimento não manifestado são mais conectados com usuários que manifestaram algum sentimento em relação a um candidato. Ou seja, usuários pertencentes à classe “Não manifestado” possuem uma rede de contatos predominantemente composta por usuários de outras classes.

5.2. Análise da Homofilia do Segundo Cenário

A Tabela 7 apresenta os resultados da análise da homofilia considerando as seis classes de sentimento. Houve homofilia nas classes “Crítico ambos”, “Pró Trump” e “Pró Hillary”. O fenômeno da heterofilia ocorreu nas classes “Não manifestado”, “Neutro” e “Favorável ambos”.

Tabela 7. Resultado da homofilia nas seis classes de sentimento

<i>Classe</i>	<i>IH_i das conexões gerais</i>	<i>IH_i das conexões recíprocas</i>
Não manifestado	-1,056	-1,030
Neutro	-0,116	-0,138
Crítico ambos	0,090	0,124
Pró Trump	0,053	0,057
Pró Hillary	0,075	0,106
Favorável ambos	-0,002	-0,002

Fonte: Elaborado pelos autores

Ressalta-se que o maior grau de homofilia ocorreu na classe “Crítico ambos” e o maior grau de heterofilia ocorreu na classe “Não manifestado”. Isso indica que usuários com sentimento negativo em relação ao Donald Trump e à Hillary Clinton são mais conectados entre si e, como no primeiro cenário, usuários com sentimento não manifestado possuem uma rede de contatos formada predominantemente por usuários com sentimentos diferentes em relação aos candidatos.

Nas classes em que ocorreram homofilia, quando são comparados os valores de IH_i das conexões gerais e das conexões recíprocas, nota-se que o maior grau de homofilia acontece quando são analisadas apenas conexões recíprocas dos usuários. Na classe “Não manifestado”, a heterofilia possui um grau maior das conexões gerais. Na classe “Neutro”, houve maior grau de heterofilia das conexões recíprocas e na classe “Favorável ambos” os dois valores de IH_i foram os mesmos.

5.3. Limitações

Uma das limitações deste trabalho é o risco da base dados utilizada ter muitos *tweets* que contém conteúdo político sarcástico, pois o SentiStrength não reconhece sarcasmo. Dessa forma, muitos usuários que foram classificados com sentimento positivo poderiam ser, na verdade, classificados como usuários com sentimento negativo.

Outra limitação é que a API do Twitter fornece no máximo, os 200 últimos *tweets* publicados. Dessa forma, algum usuário pode ter publicado *tweets* de sentimento positivo ou negativo sobre um candidato e estes podem não ter sido coletados. Portanto, esse usuário não seria classificado como Não manifestado ou como Neutro a um candidato.

6. Conclusão

Neste trabalho foi realizado um estudo sobre a ocorrência do fenômeno da homofilia política considerando o sentimento manifestado por usuários do Twitter em relação aos candidatos Donald Trump e Hillary Clinton na eleição americana de 2016. Os *tweets*, perfis de usuário e redes de contatos foram coletados ao longo de 122 dias (01/08/2016 até 30/11/2016). O discurso político de um usuário foi caracterizado a partir do sentimento expresso em relação aos dois candidatos a partir de seus *tweets* coletados.

A análise da homofilia foi realizada em dois cenários. O primeiro cenário considerou as classes de sentimento “Negativo”, “Neutro” e “Positivo” de forma separada para cada candidato. O segundo cenário considerou a classificação do discurso do usuário como “Neutro”, “Crítico ambos”, “Pró Trump”, “Pró Hillary” e “Favorável ambos”. Nos dois cenários também foi considerado aqueles usuários que não manifestaram sentimento em relação aos candidatos.

No primeiro cenário, o maior grau de homofilia ocorreu entre usuários que publicaram *tweets* com sentimento negativo em relação ao Donald Trump (possíveis apoiadores da Hillary). Entre usuários que publicaram *tweets* com sentimento negativo em relação à Hillary Clinton (possíveis apoiadores do Trump) ocorreu o segundo maior grau de homofilia. Nas demais classes (“Não manifestado” e “Neutro”), houve a ocorrência de heterofilia.

No segundo cenário houve homofilia entre usuários que são críticos dos dois candidatos, apoiadores do Donald Trump e apoiadores da Hillary Clinton. O fenômeno da heterofilia ocorreu entre usuários que não manifestaram seu sentimento, que tiveram sentimento neutro e sentimento favorável a ambos candidatos. Ressalta-se que houve maior grau de heterofilia entre usuários com sentimento não manifestado nos dois cenários analisados.

Uma vez que mais da metade dos usuários nos dois cenários analisados foram classificados com sentimento “Não manifestado”, sugere-se, como trabalho futuro, que sejam acrescentadas novas características para classificação do discurso político dos usuários no Twitter. Por exemplo, características sintáticas do *tweet* como *hashtags* e menções além de características da rede de contatos do usuário como por exemplo se um usuário segue ou é seguido por um candidato.

7. Agradecimentos

Este trabalho foi financiado pela FAPEMIG, CAPES, CNPq, e FAPEMIG-PRONEX-MASWeb – Modelos, Algoritmos e Sistemas para a Web (processo APQ-01400-14).

Referências

- Colleoni, E., Rozza, A., and Arvidsson, A. (2014). Echo chamber or public sphere? predicting political orientation and measuring political homophily in twitter using big data. *Journal of Communication*, 64(2):317–332.
- Currarini, S., Jackson, M. O., and Pin, P. (2009). An economic model of friendship: Homophily, minorities, and segregation. *Econometrica*, 77(4):1003–1045.
- DeMasi, O., Mason, D., and Ma, J. (2016). Understanding communities via hashtag engagement: A clustering based approach. In *Tenth International AAAI Conference on Web and Social Media*.
- Easley, D. and Kleinberg, J. (2010). *Networks, crowds, and markets: Reasoning about a highly connected world*. Cambridge University Press.

- Ferrara, E. and Yang, Z. (2015). Measuring emotional contagion in social media. *PLOS ONE*, 10(11):1–14.
- Giachanou, A. and Crestani, F. (2016). Like it or not: A survey of twitter sentiment analysis methods. *ACM Comput. Surv.*, 49(2):28:1–28:41.
- Halberstam, Y. and Knight, B. (2016). Homophily, group size, and the diffusion of political information in social networks: Evidence from twitter. *Journal of Public Economics*, 143:73–88.
- Klein, D., Manning, C. D., et al. (2003). Fast exact inference with a factored model for natural language parsing. *Advances in neural information processing systems*, pages 3–10.
- McPherson, M., Smith-Lovin, L., and Cook, J. M. (2001). Birds of a feather: Homophily in social networks. *Annual review of sociology*, pages 415–444.
- Ribeiro, E. M. B. and Bastos, A. V. B. (2014). A homofilia por cotas em cursos de alta e baixa concorrência na universidade federal da bahia. In *XXIV Congresso da Sociedade Brasileira de Computação. III Brazilian Workshop on Social Network Analysis and Mining*.
- Thelwall, M., Buckley, K., Paltoglou, G., Cai, D., and Kappas, A. (2010). Sentiment in short strength detection informal text. *J. Am. Soc. Inf. Sci. Technol.*, 61(12):2544–2558.
- Wang, H., Can, D., Kazemzadeh, A., Bar, F., and Narayanan, S. (2012). A system for real-time twitter sentiment analysis of 2012 u.s. presidential election cycle. In *Proceedings of the ACL 2012 System Demonstrations, ACL '12*, pages 115–120, Stroudsburg, PA, USA. Association for Computational Linguistics.
- Yuan, G., Murukannaiah, P. K., Zhang, Z., and Singh, M. P. (2014). Exploiting sentiment homophily for link prediction. In *Proceedings of the 8th ACM Conference on Recommender Systems, RecSys '14*, pages 17–24, New York, NY, USA. ACM.

Análise da evolução, impacto e formação de redes nos cinco anos do BraSNAM

Luciano A. Digiampietri¹, Rogério Mugnaini², José J. Pérez-Alcázar¹,
Karina V. Delgado¹, Esteban F. Tuesta¹, Jesús P. Mena-Chalco³

¹Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo

²Escola de Comunicações e Artes da Universidade de São Paulo

³Centro de Matemática, Computação e Cognição da Universidade Federal do ABC

digiampietri@usp.br

Abstract. *The Brazilian Workshop on Social Network Analysis and Mining (BraSNAM) is the first specific Brazilian event in the area of social networks analysis and mining. This is an interdisciplinary event and its goal is to integrate the scientific community that research in the area, disseminating the research performed, and enhancing new collaborations. In 2016, the event completed five years. 149 papers were presented as full or short papers, involving 335 authors. In this work, based on the five editions of BraSNAM, we present a quantitative analysis on: (i) bibliographic production, and (ii) the evolution of its co-authorship social network.*

Resumo. *O Brazilian Workshop on Social Network Analysis and Mining (BraSNAM) é o primeiro evento brasileiro específico na área de mineração e análise de redes sociais. Este evento tem natureza interdisciplinar e seu objetivo é integrar a comunidade científica que atua na área, disseminando as pesquisas realizadas e potencializando novas colaborações. Em 2016, o evento completou cinco anos e nele foram apresentados 149 trabalhos referentes a artigos completos ou curtos e que envolveram 335 autores. Neste trabalho, baseados nas cinco edições do BraSNAM, apresentamos uma análise quantitativa sobre: (i) a produção bibliográfica, e (ii) a evolução de sua rede social de coautoria.*

1. Introdução

A mineração e análise de redes sociais é uma área interdisciplinar que atualmente envolve principalmente as áreas de ciências sociais aplicadas e ciência da computação.

Uma rede social é uma estrutura composta por indivíduos que são conectados por relações. O conceito de redes sociais existe há séculos nas áreas de sociologia e antropologia social, mas ganhou muito destaque nas últimas décadas com o desenvolvimento de métodos computacionais para a análise de redes, bem como a grande disponibilização de informações na web e, em especial, com o surgimento das redes sociais online [Lemieux and Ouimet 2008].

A análise de redes sociais pode ser utilizada para uma grande gama de aplicações, desde a caracterização de comunidades, recomendação de itens, sugestão de relacionamentos, predição de tendências, análise de influências, entre tantas outras [Wasserman and Galaskiewicz 1994, Wasserman and Faust 2009].

Redes sociais buscando compreender a estrutura intelectual da informática biomédica analisando tópicos de pesquisa publicados em eventos acadêmicos foram utilizadas em [Jeong and Kim 2010]. Segundo os autores, a análise da literatura publicada em anais de eventos apresenta vantagens sobre abordagens bibliométricas mais comuns, pelo fato de não dependerem do atraso causado pelas bases de dados bibliográficas. Além disso, tal fonte é propícia para análise de domínio, permitindo identificar novos tópicos emergentes e, conseqüentemente, uma melhor compreensão da área. Adicionalmente, a utilização de análise de redes sociais para definição de links entre os artigos viabiliza a análise de domínio, que usualmente dependia de citações, o que fazia com que estudos só fossem viáveis após considerável intervalo de tempo após o ano de publicação.

Em 2012 ocorreu a primeira edição do *Brazilian Workshop on Social Network Analysis and Mining* (BraSNAM), o primeiro evento brasileiro específico para tratar assuntos ligados à mineração e análise de redes sociais. O workshop objetiva ser um “*facilitador no reconhecimento dos trabalhos desenvolvidos atualmente no país, na troca de conhecimento e na criação de novas colaborações nacionais e internacionais. A ideia do evento é ser multidisciplinar, integrando todos que trabalham ou tenham interesse na área.*”¹.

O evento é realizado anualmente e aceita a submissão de artigos longos (12 páginas) e artigos curtos (6 páginas). Cada artigo passa por um processo de revisão por pares às cegas no qual os autores e os revisores desconhecem quem é o avaliador e o avaliado (*double blind*). Ao longo de seus cinco anos de existência, 149 artigos foram apresentados no BraSNAM e estes contaram com 335 autores diferentes.

O objetivo deste artigo é realizar uma análise da produção bibliográfica e de redes sociais de coautorias considerando as cinco primeiras edições do BraSNAM (de 2012 a 2016). Neste trabalho são levantadas medidas bibliométricas relacionadas ao número de artigos publicados, autores e citações. Adicionalmente, a evolução da rede social de coautorias é analisada observando-se diferentes métricas de rede, bem como a capacidade do evento em agregar novos autores a cada uma de suas edições. Por fim, uma breve análise sobre os títulos das publicações é realizada verificando-se as expressões mais frequentes, os tipos de desafios tratados e as fontes de dados utilizadas.

Acreditamos que o mapeamento aqui realizado permite evidenciar de forma quantitativa características e padrões importantes sobre o BraSNAM. O que o evento publica? Qual o impacto, em termos de citações, dos artigos publicados? Existem comunidades de pesquisadores que participam de forma constante? Quais os tópicos mais pesquisados em todas as edições do evento? Essas são questões que abordamos e discutimos neste trabalho.

2. Materiais e Métodos

Neste trabalho foram utilizadas informações de duas fontes diferentes. A primeira corresponde aos sítios web das cinco primeiras realizações do BraSNAM (de 2012 a 2016). Destes sítios foram copiadas as listas de trabalhos longos e curtos que foram apresentados em cada uma das edições do evento. Para o presente trabalho, foram utilizados, para cada

¹BraSNAM: http://www.imago.ufpr.br/csbc2012/anais_csbc/eventos/brasnam. Último acesso em 5 de março de 2017

artigo: o título, a lista de autores e o ano em que foi apresentado. Este processo resultou na identificação de 149 trabalhos e 335 autores.

A segunda fonte de informação foi o Google Acadêmico², utilizado para a obtenção do número de citações recebidas por todos os trabalhos apresentados no BraSNAM. Esta obtenção foi realizada por meio de uma ferramenta desenvolvida para consultar o título de cada artigo no Google Acadêmico e verificar se o título encontrado corresponde ao título procurado. Ao todo, esta abordagem permitiu encontrar 226 citações a trabalhos apresentados no BraSNAM.

Com base nessas informações, foram realizados dois tipos de análise: (i) A análise da produção bibliográfica relacionada com a quantidade de artigos publicados, distribuição dos artigos por autores, distribuição dos autores por artigo, citações recebidas pelos artigos e pelos autores e índices g e h do evento. (ii) A análise de redes sociais através de redes de coautoria criadas para cada ano do evento e também redes acumuladas contendo os dois, os três, os quatro e os cinco primeiros anos do BraSNAM. Para estas redes foram analisadas 14 métricas [Wasserman and Faust 2009] que serviram tanto para caracterizar as redes quando para analisar a evolução da coautoria ao longo dos anos. Adicionalmente, os títulos das publicações foram analisados e foi gerada uma nuvem de palavras e expressões e uma rede de palavras. A discussão dos resultados é descrita na próxima seção.

3. Resultados

Ao longo de suas cinco primeiras edições, 149 trabalhos foram apresentados no BraSNAM, sendo 40 trabalhos em 2012, 28 em 2013, 31 em 2014, 32 em 2015 e 18 em 2016.

Dos 149 trabalhos apresentados no evento, 59 receberam uma ou mais citações³, totalizando 226 citações. Segundo estes dados, o índice-h do BraSNAM é igual a 7 e o índice-g é igual a 11 [Egghe 2006]. A Figura 1 apresenta o número de artigos de acordo com as citações recebidas. Observa-se que cinco artigos receberam mais de 10 citações, enquanto que 90 ainda não receberam nenhuma e 26 foram citados uma única vez.

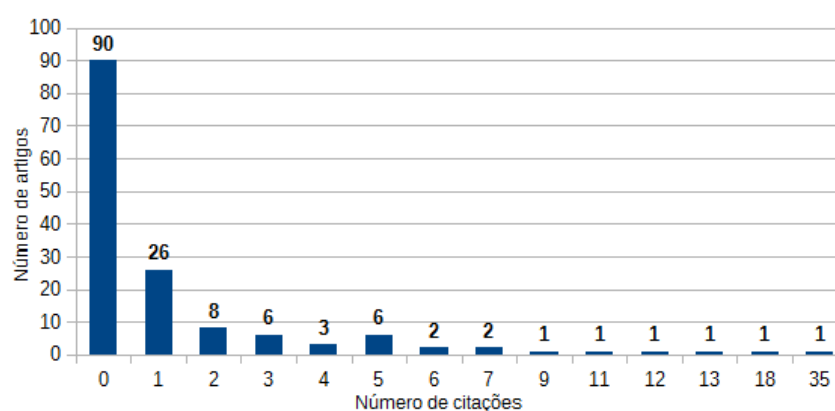


Figura 1. Número de artigos de acordo com as citações recebidas.

²Google Acadêmico: scholar.google.com.br. Último acesso em 5 de março de 2017.

³Dados obtidos do Google Acadêmico em 24/02/2017.

A Tabela 1 contém a referência, o título, o ano do evento e a quantidade de citações recebidas pelos 10 artigos mais citados. Observa-se que estes 10 artigos foram apresentados nas duas primeiras edições do evento, o que não é uma surpresa já que artigos mais antigos possuem mais tempo para serem citados. Estes artigos somam 124 citações o que corresponde a 55% do total de citações recebidas pelos artigos do BraSNAM.

Tabela 1. Artigos mais citados do BraSNAM.

Referência	Título	Ano	Cits.
[Digiampietri et al. 2012a]	Minerando e Caracterizando Dados de Currículos Lattes	2012	35
[Digiampietri et al. 2012b]	Dinâmica das Relações de Coautoria nos Programas de Pós-Graduação em Computação no Brasil	2012	18
[Mena-Chalco et al. 2012]	Caracterizando as redes de coautoria de currículos Lattes	2012	13
[Nascimento et al. 2012]	Análise de sentimento de tweets com foco em notícias	2012	12
[Gonçalves et al. 2013]	O que Tweets Contendo Emoticons Podem Revelar Sobre Sentimentos Coletivos?	2013	11
[do Vale Cunha et al. 2013]	Redes de títulos de artigos científicos variáveis no tempo	2013	9
[Tuesta et al. 2012]	Análise temporal da relação orientador-orientado: um estudo de caso sobre a produtividade dos pesquisadores doutores da área de Ciência da Computação	2012	7
[Digiampietri et al. 2013]	Predição de coautorias em redes sociais acadêmicas: um estudo exploratório em Ciência da Computação	2013	7
[Ströele et al. 2012]	Análise de Redes Sociais Científicas: Modelagem	2012	6
[Oliveira et al. 2012]	Monitoramento das Interações dos Aprendizes na Rede Social Twitter como Apoio ao Processo de Mediação Docente	2012	6

Dos 335 autores de trabalhos do BraSNAM, 254 participaram da publicação de um único trabalho no evento e 7 participaram da publicação de mais de cinco trabalhos. A Figura 2 apresenta um gráfico de barras com a quantidade de artigos publicados pelos autores.

Na média, cada artigo apresentado no BraSNAM teve 3,4 autores. Ao observar essa medida para cada edição do evento, nota-se que ela oscilou entre 2,7 e 3,8. Já a mediana foi de 3 autores por artigo para todas as edições do evento. Verificou-se uma correlação positiva igual a 0,3 entre o número de coautores e a quantidade de citações recebidas pelos artigos, considerando todas as edições do BraSNAM. Em particular, o maior valor de correlação (0,59) entre o número de coautores e o número de citações recebidas pelos artigos ocorreu na primeira edição do evento.

A Tabela 2 apresenta o número de artigos publicados no BraSNAM, o número de citações recebidas e o número de coautores dos sete autores que publicaram mais de

cinco artigos ao longo da história do evento. Destaca-se que o *Autor1* é o que participou da maior quantidade de trabalhos apresentados no BraSNAM (10% do total) e que recebeu a maior quantidade de citações (41% do total de citações). Já o *Autor2* foi aquele que colaborou com a maior quantidade de autores (cerca de 8,7% do total de autores).

Tabela 2. Autores que tiveram a maior quantidade de artigos publicados no BraSNAM.

Autor	Artigos	Citações	Coautores
Autor1	15	93	23
Autor2	13	23	29
Autor3	11	8	19
Autor4	8	5	20
Autor5	7	20	18
Autor6	7	11	15
Autor7	6	79	11

Dos autores que tiveram seus trabalhos apresentados e publicados no BraSNAM, apenas 4 não têm nenhum colaborador/coautor. A quantidade de colaboradores mais frequente é 2 (78 autores possuem 2 colaboradores) e em segundo lugar está 3 (69 autores possuem três colaboradores), conforme pode ser observado na Figura 3.

Com base na coautoria dos trabalhos apresentados no BraSNAM foram geradas

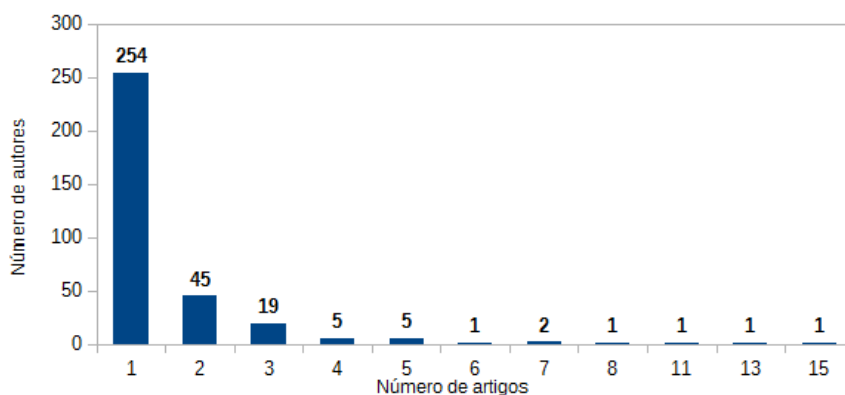


Figura 2. Quantidade de artigos publicados no BraSNAM pelos autores.

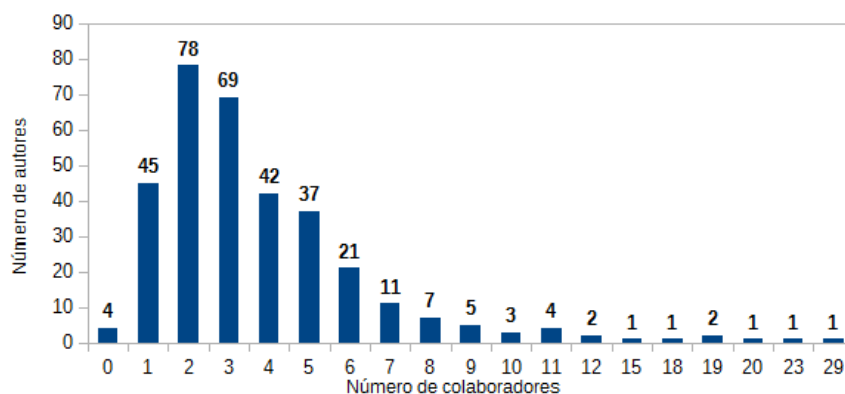


Figura 3. Quantidade de colaboradores dos autores do BraSNAM.

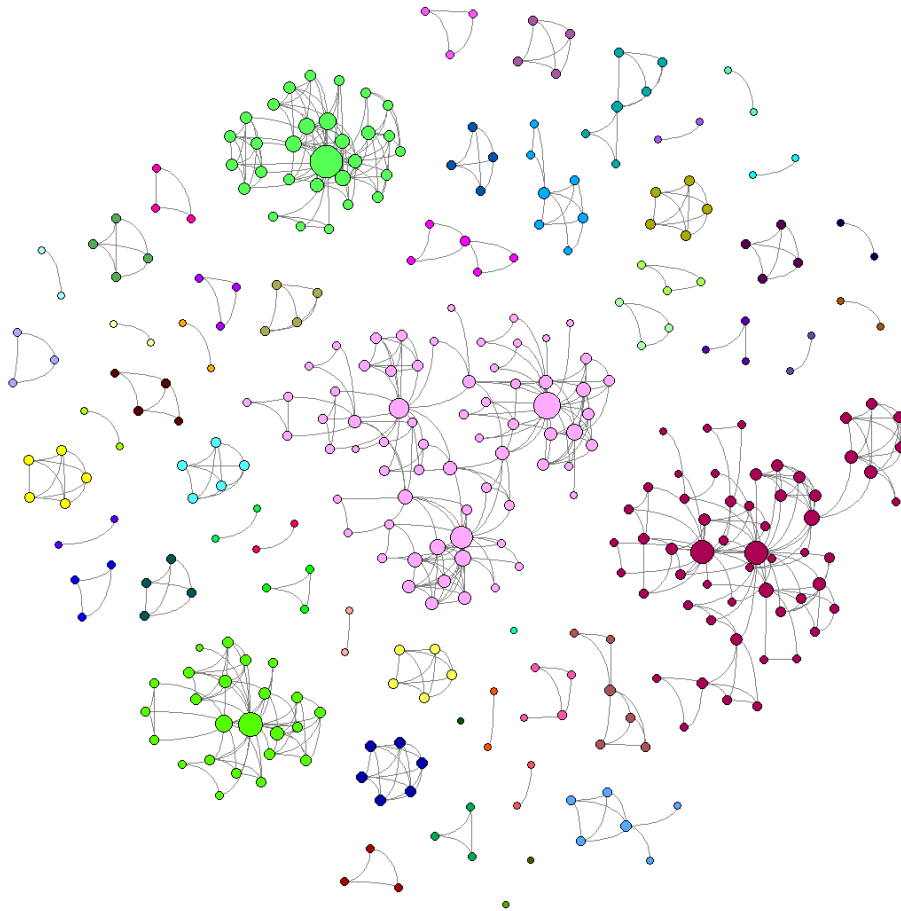


Figura 4. Rede social das coautorias acumuladas de 2012 a 2016.

redes sociais de coautorias. Nestas redes, cada autor corresponde a um nó e as arestas representam a relação de colaboração na produção de ao menos um artigo no BraSNAM. Dessa forma, a coautoria de cada artigo gera uma clique entre os nós coautores.

Ao todo foram geradas nove redes de coautorias, uma para cada ano do BraSNAM (de 2012 a 2016) e as redes com as coautorias acumuladas 2012-2013, 2012-2014, 2012-2015 e 2012-2016). Apenas para facilitar a visualização das figuras e tabelas a seguir, também é apresentada uma rede com a coautoria “acumulada” de 2012 a 2012, que, de fato, é a própria rede de 2012. Assim, são apresentadas cinco redes anuais e cinco com as coautorias acumuladas.

A Figura 4 apresenta todas as coautorias ocorridas nos trabalhos apresentados no BraSNAM de 2012 a 2016. Cada um dos 335 autores está representado como um nó e as relações de coautorias são representadas por arestas (ao todo, 653 arestas). O tamanho dos nós é proporcional à centralidade de grau.

O *Autor2* da tabela 2 corresponde ao maior nó da rede, no componente conexo verde na esquerda superior da Figura 4. Já o *Autor1* é o maior nó do componente gigante que está no centro da rede.

A rede da Figura 4 é composta por 53 componentes conexos. Há 4 autores individuais (que não estão ligados a nenhum outro). O tamanho do componente mais frequente é

2 (com 16 componentes desse tamanho) e o maior componente contém 68 autores (20,3% dos autores da rede). A Figura 5 apresenta a quantidade de componentes para cada quantidade de autores.

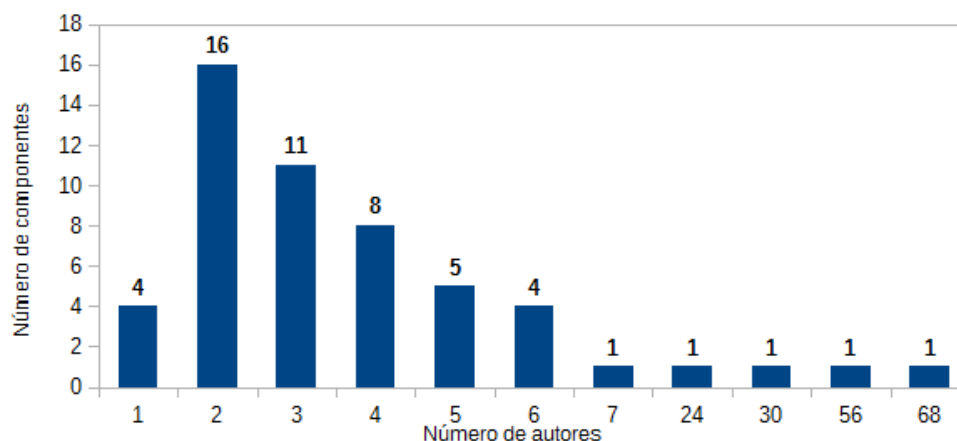


Figura 5. Número de autores por componente conexo - rede acumulada 2012-2016

A Tabela 3 apresenta algumas métricas de todas as redes produzidas. Observa-se, pelo número de nós a quantidade de autores que tiveram artigos apresentados em cada uma das edições do BraSNAM. O número máximo foi na primeira edição do evento (106, ou seja, 32% do total acumulado de autores do evento) e o mínimo na última (42). Pelas redes acumuladas, observa-se que a cada edição do BraSNAM novos autores tiveram seus trabalhos apresentados. Além do grande número de autores em 2012, a edição de 2013 atraiu 58 novos autores, além de contar com a participação de 26 que já haviam participado da primeira edição do evento. A edição de 2014 atraiu 75 novos autores, já a edição de 2015 atraiu 66 e a versão de 2016 atraiu 30 novos autores, totalizando 335 autores. A Figura 6 apresenta as redes anuais e as redes acumuladas.

Em termos de densidade, todas as redes são pouco densas (densidades abaixo de 0,06 ou seja, menos de 6% das arestas possíveis). Estes valores baixos são esperados em redes de coautorias, pois a grande maioria dos autores é coautor de um pequeno número de pessoas [Digiampietri et al. 2012a]. A rede mais densa é a rede de 2016 que é justamente a rede com o menor número de autores.

As redes são todas desconexas, assim, algumas medidas só podem ser medidas considerando seus componentes conexos. O diâmetro das redes varia de 2 a 8. Os maiores diâmetros são encontrados nas redes acumuladas de 2012-2015 e 2012-2016 e ocorrem devido à conexão existente entre diferentes artigos (artigos que possuem um ou mais autores em comum).

Considerando que cada artigo corresponde a uma clique, o tamanho da clique máxima, em redes de coautoria, tipicamente, corresponde ao maior número de autores de um dado artigo. Esta característica ocorre na rede de coautorias do BraSNAM, cuja maior clique tem tamanho 8 e ocorre porque em 2015 há um artigo com 8 autores.

O número de componentes conexos em cada edição do BraSNAM é sempre menor do que o número de artigos, isto ocorre porque em todas as edição há autores comuns entre diferentes artigos, o que une as cliques correspondentes a cada artigo. Considerando as

	Número de nós	Número de arestas	Densidade	Diâmetro	Tamanho da clique máxima	Média dos caminhos mínimos	Número de componentes conexos	Tamanho do componente gigante	Nós no componente gigante	Coefficiente de agrupamento	Assortatividade de grau	Centralização de grau	Centralização de proximidade	Centralização de intermediação
2012	106	195	0,035	5	7	2,13	19	31	29,25%	0,64	0,102	0,108	0,005	0,048
2013	84	148	0,042	4	7	1,81	17	18	21,43%	0,83	0,425	0,066	0,004	0,021
2014	96	161	0,035	3	6	1,45	23	17	17,71%	0,78	0,199	0,133	0,003	0,020
2015	99	176	0,036	3	8	1,56	22	17	17,17%	0,75	0,266	0,127	0,002	0,019
2016	42	44	0,051	2	5	1,19	13	5	11,90%	0,85	0,551	0,046	0,002	0,006
2012-2012	106	195	0,035	5	7	2,13	19	31	29,25%	0,64	0,102	0,108	0,005	0,048
2012-2013	164	320	0,024	5	7	2,46	24	39	23,78%	0,62	0,088	0,080	0,002	0,032
2012-2014	239	464	0,016	6	7	2,64	38	48	20,08%	0,58	0,048	0,068	0,001	0,024
2012-2015	305	616	0,013	8	8	2,93	46	66	21,64%	0,54	-0,001	0,082	0,001	0,022
2012-2016	335	653	0,012	8	8	2,95	53	68	20,30%	0,53	0,014	0,075	0,001	0,020

Tabela 3. Métricas das redes sociais de coautoria.

redes acumuladas, o número de componentes cresce gradativamente a cada ano, iniciando com 19 componentes em 2012 e terminando com 53 componentes na rede acumulada até 2016. É importante destacar que ao longo dos anos existem componentes conexos que se fundem, mas mesmo assim há mais novos componentes do que fusões (conforme pode ser observado na Figura 6).

O tamanho do componente gigante (maior componente conexo da rede) aumentou gradativamente nas redes acumuladas. Em 2012 esse componente possuía 31 autores, em 2013 esse componente recebeu 8 novos autores. Já em 2014, um novo componente assumiu a função de componente gigante, contendo 48 autores. Em 2015 esse componente se une a outro componente além de receber novos autores, totalizando 66 autores. Por fim, na rede acumulada até 2016, dois novos autores passam a participar do componente, somando 68 autores. Em termos de porcentagem de indivíduos no componente gigante, nas redes de coautorias acumuladas, essa porcentagem variou entre 20% e 30%. Observa-se com o passar dos anos que autores de diferentes grupos começaram a cooperar, causando a união de diferentes componentes.

O coeficiente de agrupamento ou coeficiente de clusterização mede a transitividade das relações em uma rede. Em redes de coautoria (ou redes de cliques em geral), esse coeficiente costuma ter valores elevados, pois em uma clique esse valor é máximo (isto é, igual a 1,0). O maior valor de coeficiente de clusterização ocorreu na rede de coautorias de 2016 (0,85). Já a rede de coautorias acumuladas de 2012 a 2016 foi a que apresentou o menor valor para esta métrica (0,53).

A assortatividade de grau mede a tendência de autores que possuem o mesmo grau de se relacionarem. Em redes de coautoria esta medida é importante por indicar se há uma tendência da existência de relações apenas de publicações individuais (pois em cliques

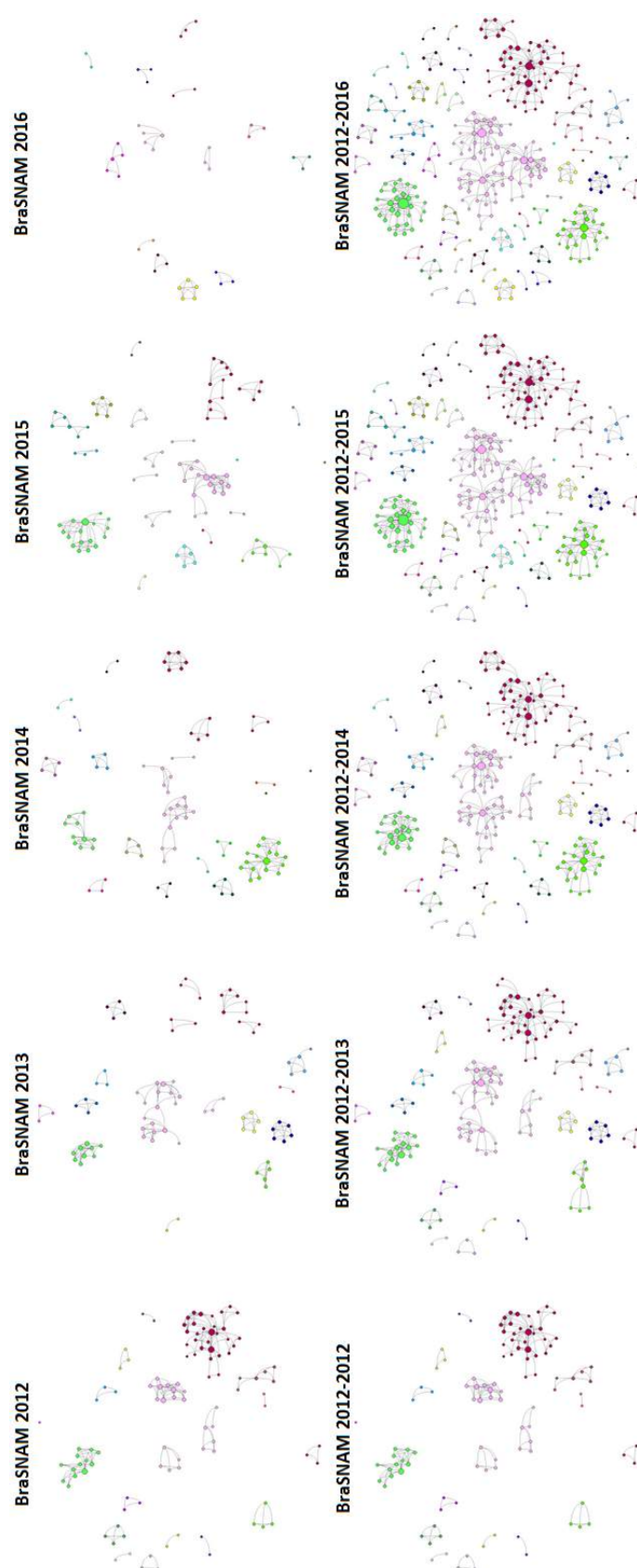
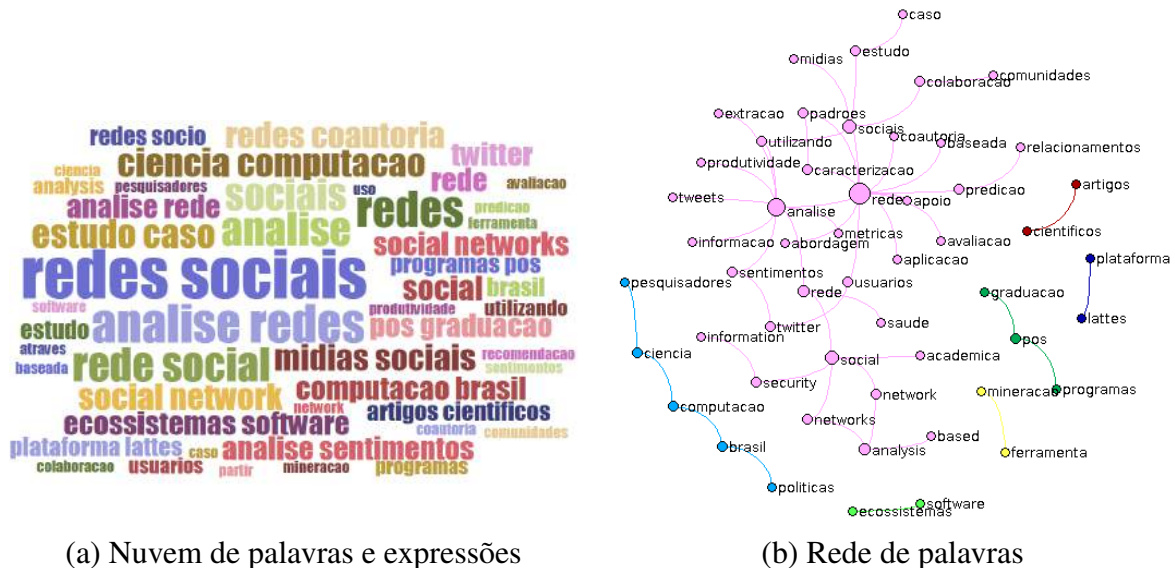


Figura 6. Redes sociais das coautorias e coautorias acumuladas de 2012 a 2016.

isoladas o valor da assortatividade de grau é máxima, isto é, 1,0, pois todos os autores têm o mesmo grau). A rede de coautorias de 2016 apresentou o maior valor de assortatividade (0,551), já as redes acumuladas de 2012 a 2015 e 2012 a 2016 apresentaram valores muito próximos de zero, indicando que não há uma tendência de autores com mesmo grau de se relacionarem.

As medidas de centralização medem o quão central o nó mais central da rede é em relação aos demais. As três medidas de centralização adotadas, baseadas no grau, na proximidade e na intermediação apresentaram valores não muito elevados o que é positivo por indicar que nenhum autor é extremamente central nestas redes. O maior valor encontrado para a centralização de grau ocorreu em 2014 (0,133). Já a maior centralização de proximidade e de intermediação ocorreram em 2012 (respectivamente, 0,005 e 0,048). A rede acumulada de 2012 a 2016 foi a que apresentou os menores valores de centralização indicando que no conjunto de autores e relações de coautoria de toda a história do BraSNAM a importância dos autores está dividida na rede.

A Figura 7(a) contém a nuvem de palavras e expressões⁴ dos títulos dos 149 trabalhos apresentados no BraSNAM. Aqui, destacam-se inicialmente os termos “redes sociais”, “análise redes” e algumas de suas variações. Observam-se também algumas fontes de dados utilizadas como “Twitter” e “Plataforma Lattes”. É possível também observar termos relativos ao domínio acadêmico, como “redes coautoria”, “pós graduação” e “artigos científicos”. Por fim, observa-se alguns termos relacionados ao tipo de problema tratado nos artigos, como “análise sentimentos” e “predição”.



(a) Nuvem de palavras e expressões

(b) Rede de palavras

Figura 7. Informações extraídas dos títulos dos artigos publicados no BraSNAM.

Já a Figura 7(b) contém a rede das palavras presentes nos títulos. Nesta rede, cada palavra que apareceu ao menos três vezes nos títulos dos trabalhos apresentados no BraSNAM é representada por um nó e uma aresta indica que duas palavras apareceram de forma consecutiva nos títulos ao menos duas vezes. Aqui, destacam-se os sete componentes conexos. Os seis menores são compostos por “ecosistemas software”, “pesquisadores ciência computação Brasil políticas”, “ferramenta mineração”, “programas pós

⁴Nuvem gerada pela ferramenta Word Cloud Generator: <https://www.jasondavies.com/wordcloud/>

graduação”, “Plataforma Lattes” e “artigos científicos”. Já o componente gigante possui 34 palavras que giram em torno de “análise redes sociais” e suas variações. Exemplos de palavras ligadas neste componente são: “predição relacionamentos”, “usuários Twitter”, “análise sentimentos”, “rede saúde” e “information security”.

4. Considerações Finais

A mineração e análise de redes sociais é uma área interdisciplinar que ganhou muito destaque nos últimos anos com a grande disponibilização de dados na web e, especialmente, dados oriundos de redes sociais online.

A importância do tema e a visão dos organizadores do BraSNAM em perceber que pesquisas na área estavam tomando corpo no Brasil, mas em iniciativas ainda bastante espalhadas, justificou a criação do *Brazilian Workshop on Social Network Analysis and Mining*.

Este artigo analisou a rede social formada pelos autores dos trabalhos apresentados nos primeiros cinco anos do BraSNAM, além de realizar uma análise da produção bibliográfica sobre estes trabalhos. Observou-se uma evolução do evento que anualmente tem atraído novos pesquisadores para apresentar seus trabalhos, ao mesmo tempo em que os grupos de pesquisadores envolvidos no evento têm se consolidado e expandido.

O evento cumpre assim seus objetivos, abordando diferentes temas ligados à mineração e análise de redes sociais, aplicados a variados domínios e usando informações de diferentes fontes.

Agradecimentos

Este trabalho foi parcialmente financiado por CAPES, CNPq e FAPESP.

Referências

- [Digiampietri et al. 2013] Digiampietri, L., Santiago, C., and Alves, C. (2013). Predição de coautorias em redes sociais acadêmicas: um estudo exploratório em Ciência da Computação. In *II Brazilian Workshop on Social Network Analysis and Mining (BraSNAM 2013) - Anais do XXXIII Congresso da Sociedade Brasileira de Computação (CSBC 2013)*, page 12, Maceió, AL, Brasil.
- [Digiampietri et al. 2012a] Digiampietri, L. A., Mena-Chalco, J., Perez-Alcazar, J. J., Tuesta, E. F., Delgado, K., and Mugnaini, R. (2012a). Minerando e Caracterizando Dados de Currículos Lattes. In *Brazilian Workshop on Social Network Analysis and Mining (BraSNAM 2012) - Anais do XXXII Congresso da Sociedade Brasileira de Computação (CSBC 2012)*, page 12, Curitiba, PR, Brasil.
- [Digiampietri et al. 2012b] Digiampietri, L. A., Mena-Chalco, J., Silva, G. S., Oliveira, L., Malheiro, A., and Meira, D. (2012b). Dinâmica das Relações de Coautoria nos Programas de pós-Graduação em Computação no Brasil. In *Brazilian Workshop on Social Network Analysis and Mining (BraSNAM 2012) - Anais do XXXII Congresso da Sociedade Brasileira de Computação (CSBC 2012)*, page 12, Curitiba, PR, Brasil.
- [do Vale Cunha et al. 2013] do Vale Cunha, M., Rosa, M. G., de Sousa Fadigas, I., Miranda, J. G. V., and de Barros Pereira, H. B. (2013). Redes de títulos de artigos científicos variáveis no tempo.

- In *II Brazilian Workshop on Social Network Analysis and Mining (BraSNAM 2013) - Anais do XXXIII Congresso da Sociedade Brasileira de Computação (CSBC 2013)*, page 12, Maceió, AL, Brasil.
- [Egghe 2006] Egghe, L. (2006). Theory and practise of the g-index. *Scientometrics*, 69(1):131–152.
- [Gonçalves et al. 2013] Gonçalves, P., Benevenuto, F., and de Almeida, V. A. F. (2013). O que Tweets Contendo Emoticons Podem Revelar Sobre Sentimentos Coletivos? In *II Brazilian Workshop on Social Network Analysis and Mining (BraSNAM 2013) - Anais do XXXIII Congresso da Sociedade Brasileira de Computação (CSBC 2013)*, page 12, Maceió, AL, Brasil.
- [Jeong and Kim 2010] Jeong, S. and Kim, H.-G. (2010). Intellectual structure of biomedical informatics reflected in scholarly events. *Scientometrics*, 85(2):541–551.
- [Lemieux and Ouimet 2008] Lemieux, V. and Ouimet, M. (2008). *Análise Estrutural das Redes Sociais*. Instituto Piaget.
- [Mena-Chalco et al. 2012] Mena-Chalco, J., Digiampietri, L., and Jr., R. C. (2012). Caracterizando as redes de coautoria de currículos Lattes. In *Brazilian Workshop on Social Network Analysis and Mining (BraSNAM 2012) - Anais do XXXII Congresso da Sociedade Brasileira de Computação (CSBC 2012)*, page 12, Curitiba, PR, Brasil.
- [Nascimento et al. 2012] Nascimento, P., Aguas, R., de Lima, D., Kong, X., Osiek, B., Xexéo, G., and de Souza, J. (2012). Análise de sentimento de tweets com foco em notícias. In *Brazilian Workshop on Social Network Analysis and Mining (BraSNAM 2012) - Anais do XXXII Congresso da Sociedade Brasileira de Computação (CSBC 2012)*, page 12, Curitiba, PR, Brasil.
- [Oliveira et al. 2012] Oliveira, R. F., Araújo, J., Medeiros, F. P., and Brito, A. V. (2012). Monitoramento das Interações dos Aprendizes na Rede Social Twitter como Apoio ao Processo de Mediação Docente. In *Brazilian Workshop on Social Network Analysis and Mining (BraSNAM 2012) - Anais do XXXII Congresso da Sociedade Brasileira de Computação (CSBC 2012)*, page 12, Curitiba, PR, Brasil.
- [Ströele et al. 2012] Ströele, V., ao, G. Z., and Souza, J. M. (2012). Análise de Redes Sociais Científicas: Modelagem. In *Brazilian Workshop on Social Network Analysis and Mining (BraSNAM 2012) - Anais do XXXII Congresso da Sociedade Brasileira de Computação (CSBC 2012)*, page 12, Curitiba, PR, Brasil.
- [Tuesta et al. 2012] Tuesta, E. F., Delgado, K. V., Digiampietri, L. A., Alcazar, J. J. P., Mugnaini, R., and Mena-Chalco, J. (2012). Análise temporal da relação orientador-orientado: um estudo de caso sobre a produtividade dos pesquisadores doutores da área de Ciência da Computação. In *Brazilian Workshop on Social Network Analysis and Mining (BraSNAM 2012) - Anais do XXXII Congresso da Sociedade Brasileira de Computação (CSBC 2012)*, page 12, Curitiba, PR, Brasil.
- [Wasserman and Faust 2009] Wasserman, S. and Faust, K. (2009). *Social network analysis: methods and applications*. Structural analysis in the social sciences. Cambridge University Press, 19 edition.
- [Wasserman and Galaskiewicz 1994] Wasserman, S. and Galaskiewicz, J. (1994). *Advances in social network analysis research in the social and behavioral sciences*. SAGE Focus Editions. SAGE Publications.

Social Capital Inequalities among Postgraduate Students and Social Selection Processes

Neylson J. B. F. Crepalde¹

¹Sociology Postgraduation Program – Minas Gerais Federal University (UFMG)
Belo Horizonte, MG – Brazil

neylsoncrepalde@gmail.com

Abstract. *This paper aims to discuss social capital inequalities between postgraduate students enrolled in a social sciences program in a Brazilian university. I analyze data from 47 postgraduate students using linear models, stochastic blockmodelling and the Social Selection Model (SSM). The analysis shows that social formations occur mainly from participation in research groups and from methodological perceived abilities.*

Keywords: *Social Capital; Social Network Analysis; Social Selection Model.*

1. Introduction

The idea of a fully egalitarian world is an impossible abstraction. As [Lin 1999] shows, people are born in an already stratified social space where individuals in different positions have different access, and therefore, different mobilizing capacities of their social capital. This is due to individual positioning in social structures, family socioeconomic background, and other person related attributes. This is no news to sociologists. However, the social selection processes, i.e., the processes by which people make ties with each other forming groups, are not so acknowledged yet although they are central to understand how the access to social resources is achieved. This has only recently been investigated.

This paper aims to discuss the inequalities that are held within the academic system, specifically within a social sciences postgraduate program in a Brazilian university. To do this, I will focus our investigation in two main aspects: academic productivity and social selection/tie formation. I used data collected online from 47 social sciences postgraduate students (masters and doctoral). To perform the analysis, I used linear models, social network analysis, stochastic blockmodelling and the highly modern *social selection model* (SSM).

[Lin 1999, p. 35] defines social capital as “resources embedded in a social structure which are accessed and/or mobilized in purposive actions”. This standpoint leads to three other findings: first, there are resources embedded in a social structure. Second, individuals have different accessibility to these resources and, third, they can mobilize this resources in purposive actions. For the purposes of this paper, this definition is sufficient as it accounts for the inequalities that I aim to investigate.

2. Data and Methods

In conducting this research, data from 47 postgraduate students was collected through an online survey in May, 2016. This sample corresponds to 60% of the total number of

students enrolled in a postgraduation program at a Brazilian university and it is representative of the total. Therefore, for the purpose of the analysis conducted here, we will assume this group as a “complete network”.

The developed questionnaire had four parts. The first was an invitation and an agreement term with which the subjects must have agreed to proceed to the questions. In the second part, the subjects were questioned about personal and socioeconomic information. In the third part, they were questioned about their academic life, productivity and impressions. In the last part, the sociometric part, they were present to the complete list of grad colleagues and they were asked to indicate persons regarding 6 issues: scientific collaboration, paper reviewing, theoretical and methodological advisement, friendship and professional indication¹.

To perform the analysis, social network analysis metrics were used as well as a statistic model from the *exponential random graph models* family, or p^* models [Robins et al. 2007, Lusher et al. 2013, Lazega and Higgins 2014]. The p^* model can be defined by

$$Pr(Y = y) = \left(\frac{1}{k}\right) exp \left\{ \sum_A \eta_A g_A(\mathbf{y}) \right\} \quad (1)$$

where Y is the theoretical estimated graph, y is the observed graph, \sum_A is the summation of all configurations A , η_A is the estimated parameter corresponding to the configuration A , $g_A(\mathbf{y})$ is the network statistic corresponding to the configuration A of the graph y and k is a constant which ensures the proper probability distribution [Robins et al. 2007].

Here, I use an extension of the p^* models known as *Social Selection Model* (SSM). The SSM was proposed by [Robins et al. 2001] with the goal of accounting for heterogeneity within the social structures using nodal attributes as exogenous covariates. So, in addition to modelling endogenous variables, i.e., network configurations that explain self-organizing processes, the SSM accounts for exogenous variables that also have an effect of structure emergence [Wang et al. 2016]. Beyond that, I also analyze the effect of dyadic covariates, i.e., the effect of the existence of an i - j tie in another relation network on the existence of an i - j tie in the modelled network [Robins and Daraganova 2013].

3. Results

To investigate if age, income, scholarship and occupation have an effect on academic productivity within the studied universe, I estimated two linear models, one by OLS and a Generalized Linear Model with gamma distribution and identity link, with the following specification:

¹The questions used were: (1) With which of these colleagues did you write or publish a scientific work?; (2) To which of these colleagues did you ask to revise a paper?; (3) If you had a theoretical doubt, whom would you ask for help?; (4) If you had a methodological doubt, whom would you ask for help?; (5) Which of these colleagues do you get together on social occasions?; (6) If you knew about a job vacancy in your acting field, which of these colleagues would you indicate?

$$\widehat{Productivity} = \beta_0 + \beta_1 ResearchGroup + \beta_2 Gender + \beta_3 White + \beta_4 SelfEval(Pub) + \beta_5 Age(centralized) + \beta_6 Work + \beta_7 Income + \beta_8 Scholarship + \epsilon \quad (2)$$

The results are presented in Table 1. A Likelihood test showed that model 2 has a better adjust to the data. What first comes to attention is the big effect that participating in a research group has over productivity. This is the second biggest effect found on the model and, therefore, a central variable to understand academic productivity. At first, men seem to be more productive than women. A *t test* showed this relation. However, in the GLM, when controlling for the other available variables we find that women are more productive, *ceteris paribus*. This is very interesting although not possible to deal with here. I intend to deepen into the academic production mechanisms in another work. Also white people seem to be more productive than non-white in this network. Self-evaluation regarding publishing has a big positive effect on productivity. This shows us that students tend to be honest about their own academic performance, nothing more. We can be tented to take hasty conclusions about expectations and productivity but it is very difficult to talk about causality in this case since we have no further information on the mechanisms that involve these variables. All I can affirm is that students expectations are highly correlated with their academic performance. To be working on a formal job seems to reduce productivity which is somewhat obvious. Age and Income have very low effects and, curiously, scholarship has a negative effect. This is also very interesting because it is expected that scholarship students have more time to dedicate to their research projects and, therefore, a higher productivity performance which is not the case.

3.1. Collaboration and association among postgraduate students

3.1.1. Stochastic Blockmodel

One of the most important concepts of social network analysis is *structural equivalence*. Two individuals are considered structurally equivalent when they present the same relational profile, i.e., the same tie patterns [Lazega and Higgins 2014, De et al. 2011, Wasserman and Faust 1994].

I looked after blocks of structurally equivalent nodes within the Review network. I used the Erdős-Rényi mixture model, a special case of binary stochastic blockmodels. It was fit with the algorithm presented by [Daudin et al. 2008].

The algorithm got a best result with 4 blocks. Blocks 1 (two students) and 2 (seven students) are constituted by individuals who are affiliated to two very close research groups. These groups deal with quantitative sociology and social network analysis. Block 3 (five students) shows people who belong to other research group that focus on sociology of crime. The remaining students were allocated to Block 4. The model shows that people within strong research groups tend to be structurally equivalent regarding requests for review.

The blockmodel clustered nodes according to some strong research groups within the program. This shows us that being in a group shapes your relational pattern and, therefore, it is an important feature of social reality. Now, I will focus on the Collaboration network seeking an statistical explanation for its emergence.

Table 1. Regression Models

	Model 1 (OLS)	Model 2 (GLM – Gamma)
Intercept	-1.14 (2.17)	0.19 (1.88)
Research Group (Yes)	0.86 (1.06)	1.52 (0.91)
Gender (Male)	0.43 (1.17)	-0.38 (0.71)
White (Yes)	0.70 (1.06)	0.79 (0.73)
Self-eval (Pub)	1.93 (0.60)**	1.80 (0.54)**
Age (centralized)	0.00 (0.12)	0.13 (0.10)
Work (Yes)	-1.69 (1.37)	-1.43 (0.89)
Income	0.00 (0.00)*	0.00 (0.00)
Scholarship (Yes)	-0.52 (1.34)	-0.55 (0.99)
R ²	0.41	
Adj. R ²	0.29	
Num. obs.	47	47
RMSE	3.33	
AIC		238.57
BIC		257.07
Log Likelihood	-118.29	-109.29
Deviance	422.34	19.16

*** $p < 0.001$, ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$

3.1.2. Social Selection Model

In Table 2 are presented the results for the p^* models estimated to analyze the Collaboration Network. First I estimated a model only with edges and controlling for the covariate network effects. Then, I inserted three more structure configurations, namely, isolates, triangulation and connectivity to estimate model 2. Model 3 was fit inserting five attribute related statistics, namely, being in the same research group, being of the same sex, being white, the productivity score and income. Statistical significance is measured here by Wald test, i.e., the coefficient will be statistic significant if it is bigger than two times the standard error [Lusher et al. 2013, Lazega and Higgins 2014].

The adjustment measures suggest that model 3 is the one best suited for the network I want to explain. We will focus on it. The edges parameter is often compared to the intercept of a regular regression model. It indicates that this network has a lot less edges than it would be expected in a “random world”. The isolates and the connectivity coefficients were not significant which indicates us that these are not important configurations for the emergence of this network. Triangulation coefficient indicates that this network has a tendency for group formation. The estimates for the covariate network effects show that all other measured relations have influence on how postgraduate students collaborate. The effect of the Review net is the biggest one which shows us that students who ask for paper review have a lot more probability to actually write or publish in partnership. The second biggest effect is found in Methodological net. This result tell us that students tend to collaborate more with people they see as methodological competent than with they see as theoretically competent. The positive and significative coefficient for Professional Indi-

Table 2. ERGM's – Dependent: Collaboration Network

	Model 1	Model 2 (ERGM)	Model 3 (SSM)
Purely structural effects			
Edges	-4.56 (0.28)*	-4.05 (1.10)*	-4.22 (0.13)*
Isolates		0.52 (0.74)	0.37 (0.22)
Triangulation (gwesp)		1.04 (0.36)*	1.07 (0.29)*
Conectivity(twopath)		-0.16 (0.29)	-0.14 (0.15)
Covariate network effects			
Review net	1.81 (0.70)*	1.87 (0.68)*	2.31 (0.14)*
Theoretical net	0.40 (0.66)	0.40 (0.65)	0.54 (0.14)*
Methodological net	1.26 (0.68)	1.27 (0.66)	1.24 (0.13)*
Professional Indic. net	0.81 (0.52)	0.73 (0.50)	0.65 (0.23)*
Friendship net	-0.46 (0.67)	-0.50 (0.66)	-0.54 (0.09)*
Actor-relation effects			
Same Research Group			1.94 (0.29)*
Homophily (Gender)			-0.65 (0.12)*
Homophily (White)			-0.73 (0.31)*
Absolute Difference (Productivity)			-0.00 (0.05)
Absolute Difference (Income)			0.00 (0.00)
AIC	223.33	220.81	220.26
BIC	255.15	268.54	294.51
Log Likelihood	-105.66	-101.41	-96.13

* *significant* (Wald test)

cation net explicit a different and more generic kind of prestige. The Friendship net had a negative and significant estimate showing that these postgraduate students build different relations with regard to friendship and academic work. They tend to write and publish with some people and develop friendship relations with different people, i.e., these two social features do not coincide.

The SSM shows that, again, participating in a research group is a very important variable to understand academic collaboration. The research group big effect tells us that the students have greater probabilities of writing and publishing together within groups. I also tested gender and race homophily; both were refused by model results. Students in this program tend to collaborate with people of different race and gender. I did not find any significant estimates for productivity score and income which shows these are not important variables to explain collaboration ties formation.

4. Discussion

[Moody 2004, p. 213] stated that the scientific collaboration network in social sciences is moved by research specialty and that “quantitative work is more likely to be coauthored than non-quantitative work”. In this research I found the same pattern with the difference that it was not the research specialty itself that connects students but, essentially, the research groups. The SSM showed that methodological abilities lead to collaboration more than theoretical ones. This is in consonance with [Moody 2004]’s findings about quan-

titative work. In fact, the research groups that appear in the blockmodel are essentially quantitative researchers.

References

- Daudin, J.-J., Picard, F., and Robin, S. (2008). A mixture model for random graphs. *Statistics and computing*, 18(2):173–183.
- De, Nooy, W., Mrvar, A., and Batagelj, V. (2011). *Exploratory social network analysis with Pajek*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Erickson, B. H. (2001). Good networks and good jobs: The value of social capital to employers and employees. In Lin, N., Cook, K., and Burt, R., editors, *Social capital: Theory and research*, pages 127–158. Aldine De Gruyter, New York.
- Granovetter, M. S. (1973). The strength of weak ties. *American journal of sociology*, pages 1360–1380.
- Granovetter, M. S. (1995). *Getting a job*. University of Chicago Press, Chicago.
- Higgins, S. S. (2005). *Fundamentos teóricos do capital social*. Argos, Chapecó.
- Lazega, E. and Higgins, S. S. (2014). *Redes sociais e estruturas relacionais*. Fino Traço, Belo Horizonte.
- Lin, N. (1999). Building a network theory of social capital. *Connections*, 22(1):28–51.
- Lusher, D., Koskinen, J., and Robins, G., editors (2013). *Exponential random graph models for social networks*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Moody, J. (2004). The structure of a social science collaboration network: Disciplinary cohesion from 1963 to 1999. *American sociological review*, 69(2):213–238.
- Portes, A. (1998). Social capital: Its origins and applications in modern sociology. *Annual Review of Sociology*, pages 1–24.
- Portes, A. (2000). The two meanings of social capital. In *Sociological forum*, volume 15, pages 1–12. Springer.
- Robins, G. and Daraganova, G. (2013). Social selection, dyadic covariates, and geospatial effects. In Lusher, D., Koskinen, J., and Robins, G., editors, *Exponential random graph models for social networks*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Robins, G., Elliott, P., and Pattison, P. (2001). Network models for social selection processes. *Social networks*, 23(1):1–30.
- Robins, G., Pattison, P., Kalish, Y., and Lusher, D. (2007). An introduction to exponential random graph (p^*) models for social networks. *Social networks*, 29(2):173–191.
- Wang, P., Robins, G., Pattison, P., and Lazega, E. (2016). Social selection models for multilevel networks. *Social Networks*, 44:346–362.
- Wasserman, S. and Faust, K. (1994). *Social network analysis*, volume 8. Cambridge university press, Cambridge.

Offensive Comments in the Brazilian Web: a dataset and baseline results

Rogers Prates de Pelle, Viviane P. Moreira

¹Instituto de Informática – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)
Caixa Postal 15.064 – 91.501-970 – Porto Alegre – RS – Brazil

{rppelle,viviane}@inf.ufrgs.br

Abstract. *Brazilian Web users are among the most active in social networks and very keen on interacting with others. Offensive comments, known as hate speech, have been plaguing online media and originating a number of lawsuits against companies which publish Web content. Given the massive number of user generated text published on a daily basis, manually filtering offensive comments becomes infeasible. The identification of offensive comments can be treated as a supervised classification task. In order to obtain a model to classify comments, an annotated dataset containing positive and negative examples is necessary. The lack of such a dataset in Portuguese, limits the development of detection approaches for this language. In this paper, we describe how we created annotated datasets of offensive comments for Portuguese by collecting news comments on the Brazilian Web. In addition, we provide classification results achieved by standard classification algorithms on these datasets which can serve as baseline for future work on this topic.*

1. Introduction

Hate speech is defined as “any communication that disparages a person or a group on the basis of some characteristic such as race, color, ethnicity, gender, sexual orientation, nationality, religion or other characteristic” [Nockleby, 2000]. Recently, companies like Facebook, Twitter, and YouTube have been facing legal action for allowing users to post texts that are considered offensive¹. Since there is a massive number of posts every day, there is a need for automatically identifying and filtering such posts.

In Brazil, there have been prominent cases of racist texts posted in social networks targeting black celebrities²³. Reports say that Brazilians spend the most time on social media and estimate that 96% of all Brazilian Internet users have at least one social network account [Webcertain, 2015]. Facebook alone has over 100 million Brazilian accounts⁴. The country ranks at third place in number of Facebook users and fifth in the number of Twitter users⁵.

Hate speech is not limited to social networks. In a preliminary analysis, we took a sample of 145 news published on a single day (7-Jun-2016) by the biggest news site in the

¹<http://www.bbc.com/news/technology-36301772>

²<http://glo.bo/1H10HaB>

³<http://glo.bo/1UiV3i0>

⁴<http://www.internetworldstats.com/south.htm>

⁵<http://www.forbes.com/sites/victorlipman/2014/05/24/top-twitter-trends-what-countries-are-most-active-whos-most-popular>

country⁶ and identified that 90% had at least one hateful comment. In most cases, users start discussing the news and end up engaging in arguments using abusive language. Even though companies have mechanisms for preventing the publication of offensive texts, they still are not able to prevent cases such as the aforementioned ones.

In Brazil, the company Agência Nova/SB⁷ carried out a study on intolerance in social networks. During three months, they monitored Facebook, Twitter, Instagram, and a number of blogs and websites. They recorded every time a subject such as racism and homophobia was mentioned, collecting a total of 542,781 mentions. Their findings, reported in [NoavaS/B, 2016], state that 84% of the comments on these subjects are negative.

Identifying offensive comments is not easy because authors tend to disguise offensive words by inserting asterisks, spaces, or replacing characters by others with similar sounds. Thus, simply checking for the presence of terms that are in a precomputed list of offenses (*i.e.*, a blacklist) would miss many such comments. A better solution would be modeling this task as a text classification problem and generate models that would learn automatically how to identify offensive comments. This approach requires an annotated dataset with positive and negative examples (*i.e.*, offensive and non-offensive comments).

A number of recent works addressed the detection of hate speech on the Web focusing on different aspects, such as identifying racist tweets [Kwok and Wang, 2013, Silva et al., 2016] or blogs [Chau and Xu, 2007, Warner and Hirschberg, 2012], filtering pages with hate and violence [Liu and Forss, 2015], detecting hate groups [Ting et al., 2013], identifying flames [Razavi et al., 2010], and offensive news comments [Sood et al., 2012, Djuric et al., 2015]. To the best of our knowledge, none of such works have addressed the Brazilian Web or Portuguese texts.

The contributions of this work are: (*i*) an annotated dataset containing offensive (and non-offensive) comments collected from the Brazilian Web. We call it OFFCOMBR and make it available to the research community; (*ii*) baseline results of standard classification algorithms applied to the dataset, which may serve as reference for future works on this topic; and (*iii*) as a byproduct of the annotation process, we made available a system to help judges annotate sentences. We believe our contributions represent an initial step to enable the development of the identification of hate speech in Portuguese.

This paper is organized as follows. Section 2 presents the related literature on hate speech identification. Section 3 describes the process used to create OFFCOMBR and presents statistics on the dataset. Section 4 reports on experimental results on the datasets. Section 5 discusses our main findings; and Section 6 concludes the paper.

2. Related Work

The high volumes of hate speech on the Web has motivated the research community to come up with approaches to identify such offenses. Recent work have addressed different platforms such as web pages, social networks, blogs, and tweets.

Supervised classifiers have been used in a number of approaches for hate speech detection in different platforms: Xiang et al. [2012] applied them to a dataset of tweets looking for profane language; Kwok and Wang [2013] also worked with tweets but to

⁶www.g1.globo.com

⁷<http://www.novasb.com.br>

detect racist posts; Razavi et al. [2010] used them for flame detection on newsgroup messages; Warner and Hirschberg [2012] tackled anti-semitic comments from Yahoo! groups; and, while Sood et al. [2012] focused on detecting profanity, Djuric et al. [2015] addressed the broad category of hate speech in news comments.

Works that created annotated datasets. Supervised learning depends on the existence of annotated datasets containing instances with and without hate speech. A few studies report having created annotated datasets using human judges. Sood et al. [2012] used crowdsourcing to annotate 6,500 news comments. A total of 221 annotators identified 9,4% as containing profanity with at least 66% consensus. Warner and Hirschberg [2012] had three judges label 1,000 paragraphs extracted from web pages that might contain anti-semitic contents. Djuric et al. [2015] reports working with over 800K comments extracted from the Yahoo! Finance website, but the annotation process is not clear. Nobata et al. [2016] assembled a corpus with over 2 million comments from Yahoo! Finance and News. The annotations were carried out by trained employees. Chen et al. [2012] asked judges to assess whether 249 YouTube users were being offensive in their posts. Unfortunately, we found that *none* of the aforementioned datasets are readily available.

Available Datasets. Despite the research on hate speech detection dating back to 20 years, only in 2016 did the first datasets become publicly available. Ross et al. [2016]⁸ has 470 tweets in German classified as to whether they contain hate speech against refugees. Wulczyn et al. [2016]⁹ contains 115,737 Wikipedia discussion comments in English. The annotations indicate whether the comment has a personal attack. Waseem [2016]¹⁰ has 6,909 tweets in English annotated for hate speech through a crowdsourcing effort. We also found a dataset with about 4K English tweets classified as offensive and non-offensive on the Kaggle website¹¹.

None of the datasets available are in Portuguese. Thus, the dataset we describe in the next Section is, to the best of our knowledge, the first initiative in this direction.

3. Dataset Creation

In this section, we detail how the dataset was collected, the annotation process, and the statistics of our datasets.

3.1. Data collection

The source of the data was the news site `g1.globo.com`. This is the most accessed news site in Brazil¹² and, as a result, it has many comments. Although the comments on this site go through moderation, we found a considerable number of offensive contents. About 90% of the news we analyzed had at least one offensive comment. After a preliminary analysis, we noticed that the news categories with the most offensive comments are politics and sports. Thus, our data collection was limited to those sections.

We implemented a webscraper which sends requests to the web site on the sections of interest. The HTML pages of the news are then downloaded and parsed to extract the

⁸https://github.com/UCSM-DUE/IWG_hatespeech_public

⁹https://figshare.com/articles/Wikipedia_Detox_Data/4054689

¹⁰<https://github.com/zeerakw/hatespeech>

¹¹<https://www.kaggle.com/c/detecting-insults-in-social-commentary/data>

¹²<http://www.alexa.com/topsites/countries/BR>

text of the news and the link where all comments for a given news can be obtained in the JSON format. All comments for a given news were extracted. Comments that were composed only of emojis or other non-alphabetical characters were discarded. To help preserve the anonymity of the authors, whenever a comment mentioned the full name of the author of another comment, we kept only the first name. At the end of this process, we obtained 10,336 comments posted for 115 news.

3.2. Annotation Process

Since our bottleneck for creating the dataset is the availability of human judges, we could not label all 10K instances. Thus, a sample of 1,250 comments was randomly selected. Following the standard procedure adopted for dataset annotation, each comment was annotated by three judges which were asked to whether it was offensive. In case of an affirmative answer, the annotator was also asked to categorize the offence as racism, sexism, homophobia, xenophobia, religious intolerance, or cursing.

We developed a tool to help the judges during the annotation process. The Web interface (depicted in Figure 1) showed the comment, the categories, and a link to the news for which the comment was written. A help screen with definitions of the categories and a definition of offensive text were also provided. We believe this tool could be useful to other annotation tasks, so we made it available at <http://inf.ufrgs.br/~rppelle/hatedetector/>.

Two datasets were generated from the annotations. The first, called OFFCOMBR-2, has all 1,250 instances and the class assigned to each comment was the one picked by *at least two* of the judges. The second is a more strict dataset, called OFFCOMBR-3. This dataset was composed solely of the comments for which *all three judges agreed* as to whether or not the comment was offensive. The datasets can be obtained at <http://inf.ufrgs.br/~rppelle/hatedetector/>.

Hate Detector 45/100

O comentário abaixo foi escrito em um site de notícias: [Clique aqui para ver a notícia](#)

"derramem o sangue e acabe essa militancia vendida ou melhor comprada por sanduiche de mortadela"

Você classifica este comentário como ofensivo? Se você fosse o moderador do site, você removeria o comentário?

Sim
 Não

Caso afirmativo, a ofensa pode ser classificada como: (pode escolher quantas classes quiser)

Racismo
 Sexismo
 Homofobia
 Xenofobia
 Intolerância Religiosa
 Xingamento

[Instruções](#)
[Definições das Classes](#)

PRÓXIMO

Figure 1. Interface of the annotation tool

3.3. Statistics for the datasets

To measure the level of agreement among the judges, we calculated the Fleiss Kappa Fleiss [1971] measure which quantifies degree of agreement over that which would be expected by chance. For OFFCOMBR-2, the value was 0.71, which is considered substantial. This value is within the range of agreement found in other works that also carried out annotations (0.63 for Warner and Hirschberg [2012], 0.73 for Chen et al. [2012], and 0.84 for Nobata et al. [2016]). Since OFFCOMBR-3 only contains instances for which the class has been agreed by all three judges, it made no sense to calculate Kappa.

In OFFCOMBR-2, 419 (out of 1,250) comments were considered offensive by at least two judges, representing 32,5% of the total (we noticed that no comment was found offensive by only one judge)¹³. For OFFCOMBR-3, there are 202 offensive comments (out of 1,033), amounting to 19,5% of the cases. As with other datasets for hate speech detection, both versions of OFFCOMBR are unbalanced with negative examples outnumbering positive ones.

Regarding the categories (racism, sexism, homophobia, xenophobia, religious intolerance, or cursing), the results for each dataset are shown in Table 1. The most common category was by far cursing. The other categories had few comments. Religious intolerance was found in only one comment and it was not unanimous.

Table 1. Prevalence of each Category in the Annotations

# Judges	Xenophobia	Homophobia	Sexism	Racism	Cursing	Religious Intolerance
1	13 (1,0%)	35 (2.8%)	14 (1,1%)	19 (1.5%)	375 (30.0%)	1 (0.1%)
2	12 (1.0%)	14 (1,1%)	8 (0.6%)	18 (1.4%)	286 (22.9%)	1 (0.1%)
3	5 (0.5%)	9 (0.9%)	4 (0.4%)	1 (0.1%)	175 (16,9%)	0 (0.0%)

4. Implementing Classifiers to Identify Offensive Comments

In this section, we address the identification of offensive comments as a text classification problem. The task was then to take each comment perform a binary classification as to whether it is offensive (*i.e.*, the classes were `yes` and `no`). Our goal here is to provide baseline results of standard classification algorithms and data preprocessing tasks on our datasets.

4.1. Experimental Setup

The instances in both datasets were submitted to a number of standard preprocessing tasks. These are identified below:

- *Case folding*. Two options were adopted: (*i*) converting the text of the comments to lowercase (`lower`) and (*ii*) leaving the comments in the case it was typed by the authors (`original`).

¹³Note that here we report on the percentage of comments that were found offensive, while in the Introduction we did a preliminary analysis of the percentage *news articles* with offensive comment. We found that, while 90% of the news articles had at least one offensive comment, out of all comments, 32,5% were considered offensive.

Table 2. Statistics of the two datasets

OFFCOMBR-2		OFFCOMBR-3	
File	#features	file	#features
original_1G	4,980	original_1G	4,348
original_1G_FS	241	original_1G_FS	119
original_1G+2G	17,374	original_1G+2G	15,085
original_1G+2G_FS	396	original_1G+2G_FS	164
original_1G+2G+3G	30,711	original_1G+2G+3G	26,600
original_1G+2G+3G_FS	448	original_1G+2G+3G_FS	182
lower_1G	4,123	lower_1G	3,647
lower_1G_FS	250	lower_1G_FS	122
lower_1G+2G	15,899	lower_1G+2G	12,385
lower_1G+2G_FS	426	lower_1G+2G_FS	103
lower_1G+2G+3G	29,126	lower_1G+2G+3G	25,303
lower_1G+2G+3G_FS	489	lower_1G+2G+3G_FS	196

- *Tokenization.* The text of the comments is tokenized and the tokens are used as features by the classification algorithms. This is known as bag-of-words approach. Three options of extracting n -gram (sequences of n tokens) features from the texts were tested: (i) using unigrams (1G), (ii) using unigrams and bigrams (1G+2G), (iii) using unigrams, bigrams and trigrams as features (1G+2G+3G). The idea is that by using longer n -grams, we could capture better the structure of the discourse.
- *Feature selection.* we compared the use of all n -grams as features against using only the features selected by Information Gain. Information Gain measures how correlated each feature is with respect to the class we wish to predict. We wanted to keep only features that had a positive correlation with the class, thus the threshold of zero was applied to the *InfoGainAttributeEval* method in Weka.

Combining all possibilities for case folding, tokenization, and feature selection across both datasets yielded 24 files to be processed by the classification algorithms. Statistics for these files are shown in Table 2.

We tested two algorithms that are widely used for text classification: Naive Bayes and SVM (called SMO in Weka's implementation). A 10-fold-cross-validation approach was followed and the results we report on the next section are the averages of the ten executions of each algorithm over the 24 data files.

4.2. Results

Our analysis of the results is based on the macro weighted average F-measure (*i.e.*, the weight is given by the class size). For each class, the F-measure is the harmonic mean between recall and precision. In order to test whether the different performances were statistically significant, we used paired T-tests with the F-measures of the executions with the standard threshold of statistical significance of $\alpha = 0.05$.

Classification results are shown in Figure 2. The columns reflect the average F-measure across all executions for a given parameter (*i.e.*, choices for preprocessing and

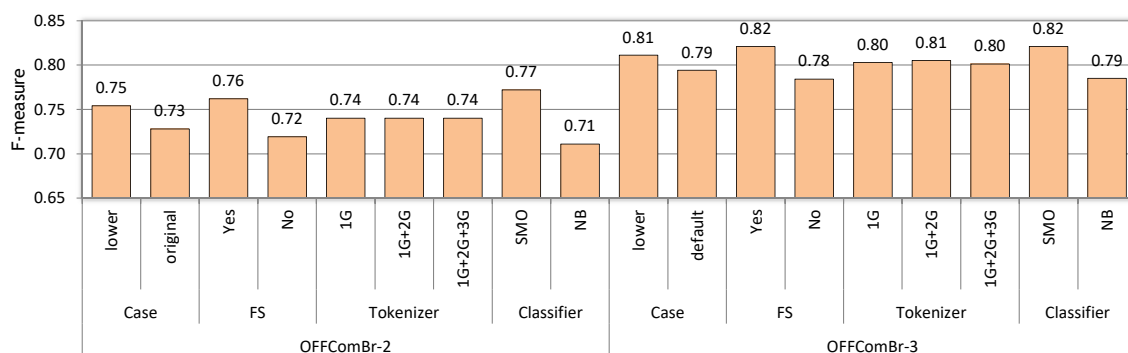


Figure 2. Classification results for different data preparations

classification algorithm). For example, the first column shows the average of the weighted F-measure in all executions in which the text of the comments was converted to lowercase considering both classification algorithms. Absolute values for F-measure ranged from .69 to .85. The configuration with the best result, in both OFFCOMBR-2 and OFFCOMBR-3, was achieved by SMO over the files in which the comments converted to lowercase and when feature selection was applied. The only difference was regarding the tokenization options – 1G+2G was the best in OFFCOMBR-2 and 1G was the best in OFFCOMBR-3, however, the differences were very small.

Regarding the results for each of the preprocessing tasks we found that:

- *Case folding.* Converting the text of the comments to lowercase brought significant improvements, with the F-measure for `lower` being statistically superior to the results for `original`. This suggests that the loss of information incurred by case folding is compensated by a gain of generality in the classification model.
- *Tokenization.* We found no statistical difference among the three tokenization options. Considering bigrams increases features by a factor of three, and considering trigrams increases the number further by a factor of two. Given the similar results that the three alternatives yield and the additional cost in processing this many more features, using unigrams only is preferable.
- *Feature selection.* Feature selection had a positive impact on the classifiers. Not only did the F-measure get significantly better but also processing time was drastically reduced by the use of much fewer features. The number of features was reduced to a maximum of 489 in OFFCOMBR-2 and 196 in OFFCOMBR-3. This represents a dramatic reduction as the selected features account for 0.8% to 4.8% of the total features.

With respect to the classifiers, SMO performed significantly better than Naive Bayes. The average F-measure for SMO was 0.80, while for Naive Bayes the average was 0.75. Besides the difference in the scores, an important difference between the two algorithms appears when we look at the misclassified instances. While SMO has more false negatives (*i.e.*, 188 offensive comments that were classified as non-offensive) and only a few false positives (*i.e.*, 15 non-offensive comments that were classified as offensive), Naive Bayes has fewer false negatives (154) and many more false positives (184).

Although these results cannot be directly compared to other works that used supervised classification algorithms for hate speech detection (since the datasets were dif-

ferent), we found that we have reached similar scores. Warner and Hirschberg [2012] and Sood et al. [2012] report achieving 0.63, while Chen et al. [2012] and Nobata et al. [2016] report scores of 0.8 and 0.83, respectively.

As expected, the classifiers performed better with OFFCOMBR-3 than with OFFCOMBR-2, since the difference between the `yes` and `no` classes are clearer in the former.

5. Discussion

In this Section we describe the main findings of this study and their implications.

Prevalence of cursing. Insults including vulgar language were the most frequent category of offensive comments. They were present in almost 70% of the comments found offensive. The targets of the insults were either people mentioned in the news (politicians or soccer players) or authors of other comments.

The importance of context. In many cases, we found that the same words present in offensive comments could also be used in non-offensive text. The distinction is the context in which they are used. For example, in all the words in the comments “*a minha mãe há anos esta no céu mas a sua tá na zona*” and “*voce nasceu assim ou bateu a cabeça quando era crianca*” are also very common in non-offensive comments. This means that one needs to know the context in which the words appear to be able to accurately classify them. In our experiments, we tested the use bigrams and trigrams as features hoping that they would provide more context and thus achieve better classification performance. Our results, however, did not improve with the use of longer n -grams. This suggests that other forms of providing context, such as considering sentence structure, should be investigated.

Language is constantly changing. The language on the Web is full of jargon, misspellings, and abbreviations. With the increase on the number of users, the evolution of the language becomes faster. New words are created and old words gain new meanings. This makes the use of static black-lists of offensive words inadequate. Also, if machine learning classifiers are to be used, they need to be capable of adapting and continue to learn new patterns.

Size of the comments. We observed a tendency that longer comments tended to contain fewer offenses. This suggests that longer comments require more careful elaboration and present fewer insults compared to shorter comments.

Freedom of speech. There is a fine balance between filtering offensive comments and interfering with people’s freedom of speech. This calls for careful consideration in the implementation of automatic methods which should aim to minimize false positives.

Limitations. Given that the availability of human judges to annotate the instances is the bottleneck in the creation of datasets, OFFCOMBR is limited to 1,250 instances. We feel that many more comments are needed to allow for a better coverage of the offensive language identified on the Web. A larger dataset would also help classifiers distinguish between the categories. In addition, the low prevalence of comments with racism, sexism, homophobia, xenophobia, and religious intolerance makes OFFCOMBR not suitable for research that focuses on these categories. Furthermore, since we did not evaluate every comment for a given news article, we are unable to analyze whether articles with more comments tend to have more offensive comments.

6. Conclusion

Methods for hate speech detection that rely on supervised machine learning require annotated datasets. Although a number of studies have been conducted in this topic, there are only a handful of datasets available, most of them in English.

This paper addresses the lack of hate speech datasets in Portuguese by describing the creation of annotated datasets of offensive posts collected from news comments. The datasets, called OFFCOMBR-2 and OFFCOMBR-3, are freely available to the research community.

We have also run standard classification algorithms on the datasets to provide baseline results. The F-measure scores we obtained are within the range found in other work that addressed hate speech identification in English.

Our future work will include enlarging our datasets through a crowdsourcing effort using a larger number of volunteer annotators. In addition, we plan on adding an (anonymized) `userId` to each comment in the dataset. This will enable finding out the prevalence of offensive comments by user. This could be used as additional evidence by automatic methods for filtering offensive text.

Acknowledgements: This work has been partially supported by CNPq. R. P. de Pelle receives an MSc grant from CNPq. We thank the volunteers Cássio Alan Garcia, Diego de Vargas Feijó, Geisiane Martini, Lucas Pessutto, and Paula Burguêz for their effort in annotating our datasets.

References

- Michael Chau and Jennifer Xu. Mining communities and their relationships in blogs: A study of online hate groups. *International Journal of Human-Computer Studies*, 65(1): 57–70, 2007.
- Ying Chen, Yilu Zhou, Sencun Zhu, and Heng Xu. Detecting offensive language in social media to protect adolescent online safety. In *Privacy, Security, Risk and Trust (PASSAT), 2012 International Conference on and 2012 International Conference on Social Computing (SocialCom)*, pages 71–80, 2012.
- Nemanja Djuric, Jing Zhou, Robin Morris, Mihajlo Grbovic, Vladan Radosavljevic, and Narayan Bhamidipati. Hate speech detection with comment embeddings. In *Proceedings of the 24th International Conference on World Wide Web Companion*, pages 29–30, 2015.
- J.L. Fleiss. Measuring nominal scale agreement among many raters. *Psychological Bulletin*, 76(5):378–382, 1971.
- Irene Kwok and Yuzhou Wang. Locate the hate: Detecting tweets against blacks. In *Twenty-Seventh AAAI Conference on Artificial Intelligence*, 2013.
- Shuhua Liu and Thomas Forss. Text classification models for web content filtering and online safety. In *2015 IEEE International Conference on Data Mining Workshop (ICDMW)*, pages 961–968, 2015.
- NoavaS/B. The Webcertain Global Search & Social Report, 2016. URL <http://www.comunicaquemuda.com.br/dossie/quando-intolerancia-chega-as-redes/>.

- Chikashi Nobata, Joel Tetreault, Achint Thomas, Yashar Mehdad, and Yi Chang. Abusive language detection in online user content. In *Proceedings of the 25th International Conference on World Wide Web*, pages 145–153, 2016.
- John T. Nockleby. Hate speech. In *Encyclopedia of the American Constitution (2nd ed., edited by Leonard W. Levy, Kenneth L. Karst et al., New York: Macmillan, 2000)*, pages 1277–1279, 2000.
- Amir H Razavi, Diana Inkpen, Sasha Uritsky, and Stan Matwin. Offensive language detection using multi-level classification. In *Advances in Artificial Intelligence*, pages 16–27. 2010.
- Björn Ross, Michael Rist, Guillermo Carbonell, Benjamin Cabrera, Nils Kurowsky, and Michael Wojatzki. Measuring the Reliability of Hate Speech Annotations: The Case of the European Refugee Crisis. In *Proceedings of NLP4CMC III: 3rd Workshop on Natural Language Processing for Computer-Mediated Communication*, volume 17 of *Bochumer Linguistische Arbeitsberichte*, pages 6–9, 2016.
- Leandro Araújo Silva, Mainack Mondal, Denzil Correa, Fabrício Benevenuto, and Ingmar Weber. Analyzing the targets of hate in online social media. In *Proceedings of the Tenth International Conference on Web and Social Media*, pages 687–690, 2016.
- Sara Owsley Sood, Judd Antin, and Elizabeth F Churchill. Using crowdsourcing to improve profanity detection. In *AAAI Spring Symposium: Wisdom of the Crowds*, volume 12, pages 69–74, 2012.
- I Ting, Shyue-Liang Wang, Hsing-Miao Chi, Jyun-Sing Wu, et al. Content matters: A study of hate groups detection based on social networks analysis and web mining. In *Proceedings of the 2013 IEEE/ACM International Conference on Advances in Social Networks Analysis and Mining*, pages 1196–1201, 2013.
- William Warner and Julia Hirschberg. Detecting hate speech on the world wide web. In *Proceedings of the Second Workshop on Language in Social Media*, pages 19–26, 2012.
- Zeerak Waseem. Are you a racist or am i seeing things? annotator influence on hate speech detection on twitter. In *Proceedings of the First Workshop on NLP and Computational Social Science*, pages 138–142, November 2016.
- Webcertain. The Webcertain Global Search & Social Report, 2015. URL <http://internationaldigitalhub.com/en/publications/the-webcertain-global-search-and-social-report-2015>.
- Ellery Wulczyn, Nithum Thain, and Lucas Dixon. Ex machina: Personal attacks seen at scale. *CoRR*, abs/1610.08914, 2016.
- Guang Xiang, Bin Fan, Ling Wang, Jason Hong, and Carolyn Rose. Detecting offensive tweets via topical feature discovery over a large scale twitter corpus. In *Proceedings of the 21st ACM International Conference on Information and Knowledge Management, CIKM '12*, pages 1980–1984, 2012.

Escalonamento multidimensional baseado em redes de árvore geradora mínima como proposta à análise e visualização de dados: uma investigação sobre as ações brasileiras

Alex Quintino Barbi¹, Gilberto Aparecido Prativiera²

¹Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade
Universidade de São Paulo (USP)
Ribeirão Preto – SP – Brasil

²Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade
Universidade de São Paulo (USP)
Ribeirão Preto – SP – Brasil

alex.barbi@usp.br, prataviera@usp.br

Abstract. *The empirical study based on network theory has greatly contributed as a methodology of financial market visualization and analysis. In this work, we propose to apply multidimensional scaling technique on network elements of a minimum spanning tree type as a technique for financial networks analysis and visualization. The method was applied in Brazilian stock market data. The analysis of the results showed that the use of multidimensional scaling on minimum spanning tree elements succeeded at simplifying the visualization of information in the data, beyond what would be obtained only processing the minimum spanning tree. On the observed dimensions (factors) of the market, we were able to identify some special segments of the Brazilian economy. In addition, the analysis of the minimum spanning tree showed that central stocks in the network followed more closely the behavior of the local general market index, while the more peripheral ones had a quite different behavior. This dynamic seems to be related to the so-called volatility paths, visual structures in which cascading effects might appear in stock returns. This study may be useful for investors and managers interested in network techniques for viewing and analysing stock market properties.*

Resumo. *O estudo empírico baseado em teoria de redes tem contribuído muito como metodologia de visualização e análise do comportamento do mercado financeiro. Neste trabalho propõe-se aplicar técnica de escalonamento multidimensional sobre elementos de redes do tipo árvore geradora mínima como metodologia de análise e visualização de redes financeiras. O método foi aplicado em dados do mercado brasileiro de ações. A análise dos resultados mostrou que a utilização do escalonamento sobre os elementos da árvore geradora mínima conseguiu ainda simplificar a visualização de informação nos dados, além do que seria obtido somente pelo processamento desta árvore. Nas dimensões observadas do mercado pudemos identificar alguns segmentos especiais da economia brasileira. Além disso, a análise da árvore geradora mínima mostrou que as ações mais centrais na rede seguiram mais de perto o comportamento do índice geral do mercado local, enquanto que, as ações mais periféricas, tiveram comportamento bastante distinto. Essa dinâmica parece ter relação com os*

chamados aqui de caminhos de volatilidade, estruturas visuais nas quais podem ocorrer fenômenos do tipo efeito cascata nos retornos das ações. Este estudo pode ser útil para investidores e gestores interessados em técnicas de redes para a visualização e investigação das propriedades do mercado de ações.

1. Introdução

Uma rede (ou grafo) é uma representação da estrutura de ligação de objetos conectados por algum tipo de relação, sendo que esse tipo de representação é útil para mapear e compreender o comportamento de sistemas complexos [Barabasi 2016]. Em particular, a teoria de redes tem ajudado a caracterizar interdependências no estudo de vários componentes do mercado financeiro, em especial o acionário. Estudos de redes obtidas a partir da correlação entre ações apontam diferentes estruturas para cada cenário do mercado, e neste caso, indicam que seria possível antever eventos extremos a partir da composição destas redes [Bonanno et al. 2001].

Já os retornos de diferentes ações no mercado financeiro têm sido estudados como medida de informação econômica, evidenciando os diversos setores da economia [Mantegna 1999, Micciché et al. 2003, Bonanno et al. 2004]. Com alguma medida de similaridade entre dois objetos (neste caso, ações), consegue-se obter uma representação visual por algumas metodologias de visualização e análise de dados, tais como o escalonamento multidimensional (EMD), a análise de agrupamentos, e mais recentemente, a análise de redes.

Estudos usando técnicas de redes procurando entender a estrutura do mercado de ações têm atraído pesquisadores das mais diversas áreas como físicos, cientistas da computação, economistas e administradores, na busca em saber qual a estrutura empírica do mercado de ações, especialmente para o desenvolvimento de novos modelos, em geral, de risco financeiro [Mantegna 1999, Micciché et al. 2003, Bonanno et al. 2004, Sensoy and Tabak 2014]. Um dos caminhos para tratar de redes financeiras é a procura por arranjos hierárquicos que podem estar relacionados aos movimentos dos preços dos ativos, pois as séries temporais dos ativos financeiros carregavam valiosas informações econômicas [Mantegna 1999]. Outros estudos evidenciaram que as ligações entre os ativos estavam longe de serem árvores randômicas, e que era possível que os arranjos hierárquicos encontrados pudessem se repetir em diversas janelas de tempo [Brida and Rizzo 2008]. Concluiu-se que *deveria haver uma regra mais profunda que controlasse as propriedades estatísticas do sistema financeiro global tanto em dias típicos como durante eventos extremos* [Bonanno et al. 2001, p. 26]. Tais estudos contribuíram para que as pesquisas em redes no mercado de ações fossem intensificadas.

Os estudos em análise de redes no mercado de ações usam técnicas e estatísticas de redes na análise da topologia (arranjos) de diferentes mercados [Mantegna 1999, Coelho et al. 2007, Dias 2013, Gilmore et al. 2010, Sensoy and Tabak 2014], e na aplicação de diferentes métricas de similaridade e informação entre as ações [Tumminello et al. 2010, Yang et al. 2014, Fiedor 2014].

Os primeiros estudos em redes financeiras datam de 1999, com o surgimento do artigo *Hierarchical structure in financial markets* [Mantegna 1999], que, utilizando uma medida de distância baseada na correlação de Pearson, mostrou pela técnica de árvore geradora mínima que as ações se arranjavam de maneira hierárquica, for-

necendo informações acerca da taxonomia dos setores econômicos. Demais estudos começaram também a discutir o papel da variação temporal da volatilidade dos mercados através de medidas de rede, como por meio de sua distribuição de grau [Bonanno et al. 2004]. Outras pesquisas [Coelho et al. 2007, Sensoy and Tabak 2014] indicaram que a estrutura da rede possa se alterar de acordo com o risco existente no mercado acionário. Fato semelhante é observado para outros ativos financeiros, como taxas de juros e moedas [Dias 2013, Gilmore et al. 2010]. Por outro lado, alguns trabalhos avançaram na avaliação do estudo da dependência no mercado financeiro, adotando outras métricas de similaridade, como é o caso da chamada informação mútua [Yang et al. 2014, Fiedor 2014], e que pode revelar estruturas não lineares entre as ações, uma alternativa à análise por correlação linear de Pearson [Dionisio et al. 2004]. Apesar dos diversos estudos elaborados, a falta de trabalhos desenvolvidos para o mercado financeiro local abre uma lacuna para novos estudos empíricos nesta área, bem como sua avaliação frente a outras alternativas de visualização e análise de dados.

Neste trabalho é realizado um estudo da estrutura da árvore mínima geradora para o mercado brasileiro de ações a partir de uma distância definida por correlações entre os retornos das ações. Métricas de centralidade da árvore mínima são obtidas e analisadas. Também propomos uma alternativa para visualização de dados por meio de um escalonamento multidimensional baseado apenas nas distâncias contidas na árvore mínima geradora.

O artigo está organizado da seguinte forma: na Seção 2 são apresentados os dados estudados, os métodos de análise baseados na árvore mínima geradora e no escalonamento multidimensional. Na Seção 3 apresentamos os resultados contendo a análise da árvore mínima geradora e do escalonamento multidimensional obtido a partir desta. Finalmente, na Seção 4 são apresentadas as conclusões.

2. Métodos

Nossa base de dados é composta por séries temporais de 99 ações durante 386 pregões (negociações de período de um dia). Para entrar na base, uma ação deve ter pelo menos uma vez participado do Ibovespa (Índice Bovespa) no período em análise, que variou de janeiro de 2014 a dezembro de 2014 (período de baixa) e de janeiro de 2015 a julho de 2015 (período de alta). O período escolhido foi selecionado para evitar viés de alta ou baixa do mercado. Foram calculados os log retorno, R_t , das ações da seguinte maneira

$$R_t = \ln \left(\frac{p_t}{p_{t-1}} \right), \quad (1)$$

onde p_t é o preço atual da ação no instante t , e p_{t-1} é o preço no instante imediatamente anterior.

Uma medida típica de dependência entre objetos é o coeficiente de correlação de Pearson. No nosso caso, os objetos são ações do mercado e quantificadas pelos seus retornos. A partir do coeficiente de correlação podemos definir a seguinte medida de distância [Mantegna and Stanley 1999]

$$d_{ij} = \sqrt{2(1 - r_{ij})}, \quad (2)$$

em que r_{ij} é a correlação de Pearson entre os retornos R_t das ações i e j . Dessa maneira, se a correlação for -1, devemos obter distância igual a 2 (máxima), já no caso da correlação ser igual a 1, a distância é 0 (mínima). Penaliza-se, assim, ações com intercorrelações negativas, isolando-as das comunidades.

2.1. Escalonamento multidimensional via árvore geradora mínima

Para se encontrar o escalonamento multidimensional (EMD) via rede baseada na árvore geradora mínima (AGM) foram definidos de acordos com os passos a seguir:

1. Obter a correlação r_{ij} entre os retornos das ações i e j .
2. Obter uma matriz de distâncias a partir da Equação (2).
3. Implementar o algoritmo da árvore geradora mínima (AGM) pelo método de Kruskal [Kruskal 1956]. O procedimento consiste em ligar dois elementos com a menor distância na rede até que não haja mais elementos, dada a condição de que não se criem ciclos fechados. Encontra-se, assim, uma árvore que conecta todos os elementos com $n - 1$ ligações, mediante a minimização da soma de distâncias das arestas (ligações) da rede.
4. Aplicar o escalonamento multidimensional usando somente as distâncias dos objetos ligados na árvore geradora mínima. O algoritmo de EMD tenta plotar os objetos em R^n , preservando ao máximo possível as distâncias originais [Cormen et al. 2001]. Então, cada objeto é designado em coordenadas para cada N -dimensão, no caso aqui, $N = 2$ dimensões. O algoritmo de Kruskal [Kruskal 1964] é um dos mais utilizados na técnica do EMD.

Nessa metodologia, podemos visualizar as coordenadas em um espaço bidimensional xy , onde o escalonamento multidimensional utiliza somente as distâncias das ligações encontradas pelo algoritmo de Kruskal [Kruskal 1964]. Esse passo facilita visualizar somente as ligações que têm peso baixo (altas correlações), eliminando as com peso muito alto (baixas correlações), de forma a extrair as informações mais úteis da rede. A simplificação da AGM tem como problema o fato de esta poder excluir algumas ligações ainda de certa forma relevantes. Porém seu uso é uma maneira interessante de verificar o ganho de informação para a análise, quando eliminado boa parte do ruído. O tópico seguinte trata da árvore geradora mínima e algumas métricas associadas a ela.

2.2. Métricas da árvore geradora mínima

A partir da medida de distância definida pela Eq. (2), podemos obter a AGM e calcular algumas métricas para caracterizá-la. Uma delas é o algoritmo chamado de modularidade (Q), que é utilizado para se encontrar comunidades (grupos) em redes. O algoritmo de modularidade é designado para medir a força da divisão dos módulos (grupos), assim, redes com alta modularidade têm densas conexões entre os nós dentro do mesmo módulo e esparsas conexões entre diferentes módulos. Formalmente, é a fração de ligações que se distribuem dentro de dado grupo menos o que seria esperado caso as ligações fossem distribuídas em grafos aleatórios com a mesma distribuição de grau da rede em análise [Newman 2010, Barabasi 2016]. O valor a ser maximizado (Q) varia de -1/2 (pior) a 1 (melhor). Matematicamente, pode-se calcular Q por

$$Q = \frac{1}{2m} \sum_{ij} \left(A_{ij} - \frac{k_i k_j}{2m} \right) \delta_{(C_i, C_j)}, \quad (3)$$

em que m é o número de vértices, A_{ij} representa o total de número de vértices que se ligam entre i e j , $\frac{k_i k_j}{2m}$ representa o número esperado de arestas entre i e j , e $\delta_{(C_i, C_j)}$ é o delta de Kronecker, definido como sendo 1 para elementos pertencentes ao mesmo componente, e 0, para quando estes pertencem a diferentes componentes. A análise dos grupos pode nos evidenciar estruturas de redes fragmentadas ou então bastante densas, de forma a evidenciar grupos de volatilidade.

Outra medida, útil para caracterizar individualmente as ações é centralidade, pois denota-se quais ações são mais centrais naquela rede. Uma ação ser muito central significa que, uma vez atingida por alguma volatilidade extrema do mercado, volatilidade esta medida pela variância do retorno, ela será a intermediadora que espalha, por efeito cascata, esse efeito ao resto do mercado. Dentre muitas medidas, para este trabalho exploramos a centralidade baseada em autovetores (Cav). A Cav x_i de um nó (ação) i é proporcional a somatória da centralidade de seus i 's vizinhos. A centralidade baseada em autovetor tem limites entre 0, o menos central, e 1, o mais central. Um indivíduo em uma rede social, por exemplo, pode ser importante por conhecer muitas pessoas, ou simplesmente por conhecer algumas pessoas que são realmente muito importantes. Matematicamente, a centralidade x_i é dada por [Newman 2010]

$$x_i = \gamma_1^{-1} \sum_j A_{ij} x_j, \quad (4)$$

na qual γ_1^{-1} representa o inverso do maior autovalor de A , sendo que A é a matriz de adjacência ponderada somente pelas correlações dos elementos que compõem a AGM, e x_j é o grau do nó j .

3. Resultados e discussões

Esta seção dedica-se a explorar os resultados obtidos pela estrutura da AGM e pela posterior análise por EMD via AGM.

3.1. Explorando a estrutura da árvore geradora mínima

Nesta seção apresentamos a AGM elaborada e suas propriedades. Para a visualização da AGM usamos o algoritmo *Force Atlas 2*, que repulsa os nós dissimilares por meio de um procedimento de gravidade, empurrando os nós mais centrais para a periferia do grafo [Jacomy et al. 2014]. A Figura 1 apresenta a estrutura da AGM.

A Tabela 1 apresenta as centralidades baseadas em autovetor das ações da rede analisada das ações mais centrais para a rede, bem como as mais periféricas (menos centrais). Esse tipo de centralidade pode estar ligada a efeitos cascata nas volatilidades das ações [Di Matteo et al. 2010]. Volatilidade alta nas ações com maior centralidade induz maior volatilidade ao mercado como um todo, propagando-se a outras ações por aquelas mais centrais, a saber, as melhores ranqueadas da Tabela 1. Por outro lado, alta volatilidade em ações como EMBR3 e DASA3 (periféricas) não afetam o mercado como um todo, pelo menos de imediato.

Pela rede financeira elaborada podemos verificar alguns caminhos para transmissão mais rápida da volatilidade. Na Figura 1, vemos que BBDC4 (Banco Bradesco S/A, em rosa) se relaciona com ITSA4 (em azul claro, controladora do Banco Itaú S/A)

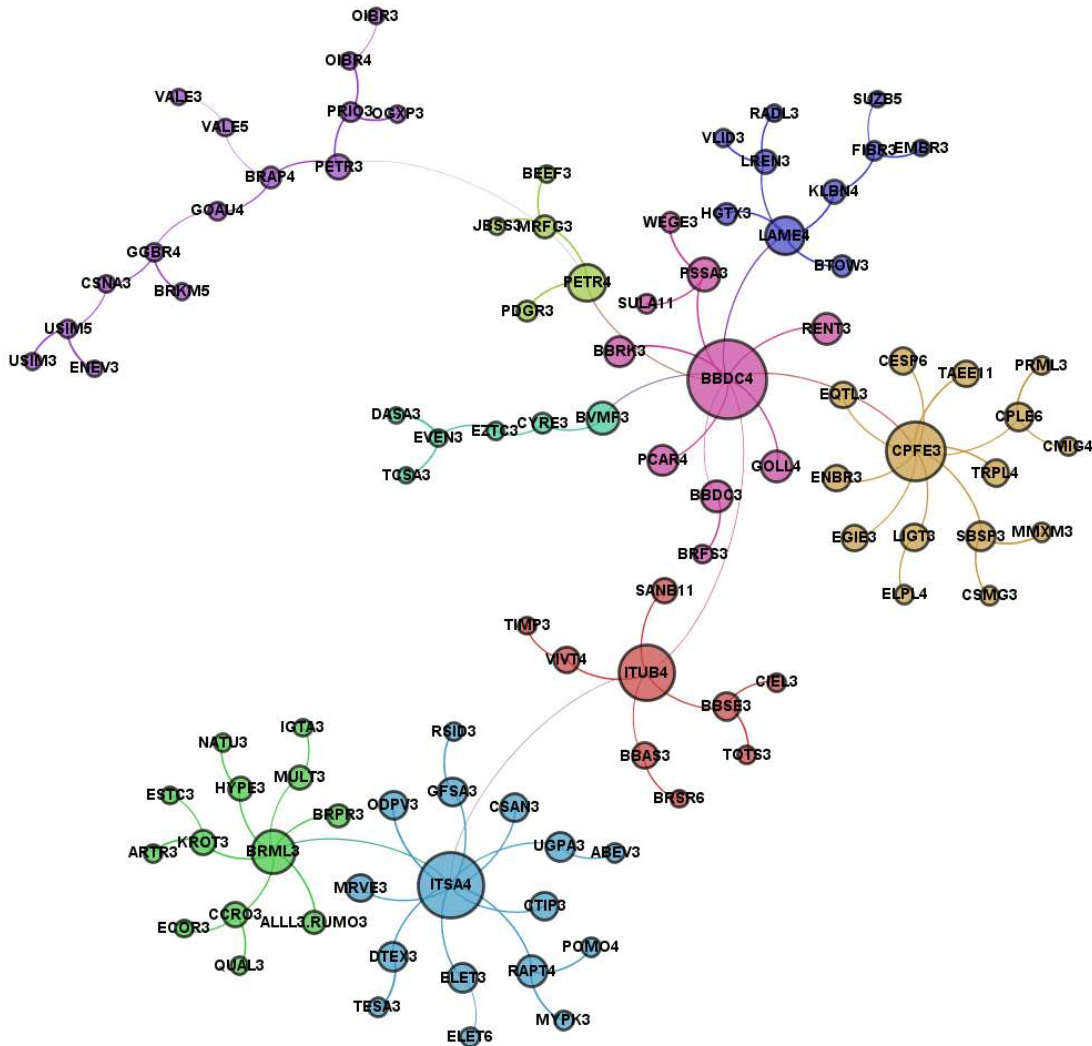


Figura 1. Rede baseada em árvore mínima geradora com os grupos formados pela modularidade (9 comunidades). Nessa rede, o peso total da estrutura é 94,37 e a medida de Q é 0,82, indicando considerável formação de grupos distintos. Nessa apresentação, pode-se verificar os principais agrupamentos de volatilidade (ações mais similares entre si). Já a medida de peso total pode ser considerada posteriormente quando da avaliação de várias composições de redes. Por exemplo, um peso total menor denota maior estrutura de dependência entre aqueles ativos. No caso da rede proposta, tem-se um peso relativamente alto. Neste caso, verificamos que a rede é razoavelmente esparsa, no sentido de que esta possui caminhos muito longínquos e menor estrutura geral de dependência baseada na correlação de Pearson. Nota: cada grupo (módulo) é ilustrado por uma cor diferente.

e ITUB4 (em vermelho, Banco Itaú S/A), onde também, neste caso, várias outras ações possuem ligações bastante próximas àquelas principais. Assim, podemos dizer que este é um ‘caminho de volatilidade’, quando, por exemplo, ITUB4 ou BBDC4 for afetado por algum evento extremo, rapidamente as ações mais próximas sofrerão impacto mais imediato, num efeito típico em cascata. Já em relação a VALE5 (em roxo), o mesmo não pode

Tabela 1. Centralidade de ações: as mais centrais, como ITUB4 e PETR4 são referência para outras ações, enquanto que as menos centrais, como DASA3 e EMBR3 são ações bastante específicas, não sendo referência para o mercado. Pela tabela notamos que, dentre as ações, aquelas do primeiro grupo (1-10) têm desempenho conjunto mais semelhante àquele ocorrido no índice geral de mercado, o IBOVESPA. Já as ações do grupo (90-99) são bastante distintas do índice em termos de retorno total R_T , médio (μ) e desvio padrão (σ).

Ordem	Ativos	Observações	Centralidade	R_T	μ	σ
1	BBDC4	Banco Bradesco PN	1.0000	-11%		
2	ITSA4	Holding ITAUSA	0.8031	6%		
3	CPFE3	CPFL Energia	0.7086	-11%		
4	ITUB4	Banco Itaú	0.6458	10%		
5	BRML3	Holding BRMalls	0.4517	-31%	-2.35%	31.18%
6	LAME4	Lojas Americanas	0.3841	60%		
7	PETR4	Petrobrás	0.3622	-57%		
8	PSSA3	Porto Seguro Seguros	0.2923	13%		
9	BVMF3	Ações Bovespa	0.2770	14%		
10	BBDC3	Banco Bradesco ON	0.2686	-15%		
90	OGXP3	Oléo Gás Partip. X	0.0295	-87%		
91	BRKM5	Braskem	0.0244	48%		
92	EMBR3	Embraer	0.0243	61%		
93	SUZB5	Suzano Papel	0.0243	105%		
94	ENEV3	MPX Energia	0.0209	-92%	-27.53%	72.27%
95	USIM3	Usiminas	0.0209	-65%		
96	DASA3	DASA - Análises clínicas	0.0206	-29%		
97	TCSA3	Tecnisa - Construtora	0.0206	-66%		
98	VALE3	Companhia Vale Rio Doce	0.0184	-58%		
99	OIBR3	Oi Brasil	0.0170	-93%		
I	IBOV	Índice Bovespa	-	-16.58%	-16.58%	7.35%

ser dito. Movimentações nesta ação não costuma ter como consequência muitos destes efeitos, ao menos no mercado como um todo.

Nesse sentido, vemos que a AGM pode estabelecer uma alternativa à visualização tradicional, eliminando ligações fracas. Além disso, pode-se adotar medidas da rede como importantes características da estrutura do mercado acionário. A medida de centralidade baseada em autovetores parece ser bastante importante para se verificar quais ativos ‘se parecem’ mais com o mercado como um todo. Os ativos BBDC4, ITSA4, ITUB4, CPFE3 e PETR4, nesta ordem, são os mais centrais da análise. Um investidor que gostaria de replicar o desempenho do mercado em geral pode utilizar desse conceito para se investir nestas ações que possuem as maiores centralidades, evidenciadas pela Tabela 1 (ativos 1-10). De modo contrário, um investidor que gostaria de se proteger contra possíveis efeitos ‘cascata’ no mercado geral poderia se proteger investindo em ações mais periféricas (ativos 90-99), como Embraer e Suzano Papel.

3.2. O escalonamento bidimensional do mercado via AGM

O chamado escalonamento multidimensional (EMD) é designado para construir um diagrama mostrando as relações entre objetos, dada apenas uma matriz de distâncias [Manly 2004]. Este diagrama pode ser mapeado em n -dimensões, mas os mais comuns são duas (plano) e três dimensões (pontos no espaço). Infelizmente, para dados reais, não é conhecido *a priori* o número de dimensões requerida para esta representação. Dessa maneira, a análise via EMD faz um procedimento de redução dimensional para que possamos visualizar os pontos em duas, talvez três dimensões, incorrendo em algum tipo de função de perda, sendo esta decorrente desta própria redução. O algoritmo de Kruskal [Kruskal 1964] é um clássico procedimento para o escalonamento, e será utilizado neste trabalho. Uma medida desse desvio das distâncias originais (perda) é o chamado *stress*, dado por

$$S(x_1, x_2, x_n) = \left(\sum_{i \neq j=1, \dots, N} (d_{ij} - \|x_i - x_j\|)^2 \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (5)$$

onde d_{ij} são as distâncias originais e $\|x_i - x_j\|$, as novas distâncias calculadas pelo algoritmo de EMD para uma n -dimensão, chamadas de disparidades. Quando o EMD produz um mapa perfeito, então $d_{ij} - \|x_i - x_j\|$ é zero para qualquer i e j , e neste caso, o *stress* é zero.

A Figura 2 mostra o mapa pela tradicional técnica de escalonamento multidimensional, com a distância definida pela equação (2), sem o uso da árvore geradora mínima como entrada. Desse modo, o mapa dessa representação apresenta o escalonamento com todas as distâncias possíveis incluídas. Já a Figura 3 mostra o mapa obtido pelo escalonamento realizado somente com as distâncias da AGM. A medida de *stress* S é igual a 0,049. Neste caso, como $S \neq 0$, a utilização do EMD sobre a AGM ainda conseguiu simplificar a visualização de informação nos dados, além do que seria obtido somente via AGM. Se o *stress* S fosse igual a zero, não haveria diferenças entre a AGM e o escalonamento em termos de mapeamento. Pelo fato de $S \neq 0$, o EMD e a AGM diferem, e nesse sentido, faz-se interessante a utilização do EMD via AGM.

O EMD baseado AGM (Figura 3) tem boa adequabilidade, uma vez que podemos separar numa primeira dimensão, uma medida de risco, representada pelas ações mais voltadas ao mercado interno e geralmente com contratos de concessão, neste caso, os grupos em azul claro e rosa claro, em relação às mais industriais, de materiais pesados ou mesmo exportadoras de materiais primários, em azul escuro. Na comparação dos métodos, alguns comentários devem ser feitos. Não há como comparar o EMD tradicional com a EMD baseado em redes de árvore geradora mínima de maneira imediata, pois a primeira utiliza todas as dissimilaridades para formação do mapa dimensional, enquanto que na segunda, a MST reduz o número de ligações, reduzindo a medida de *stress* (representa perda de informação) deste mapa. Assim, tratamos a visualização de EMD por meio de redes como uma alternativa à visualização por EMD tradicional sem utilização de redes. O fato de $S \neq 0$, quando implementado o EMD sobre a AGM, corrobora esta ideia central desenvolvida neste trabalho.



Figura 2. O EMD representado pela distância adotada pela equação (2), sem a utilização da metodologia baseada em rede. A representação do escalonamento baseada em todas as distâncias é pouco ilustrativa em termos de setores da economia, já que a medida de *stress* ficou em 0,27, representando uma razoável perda das informações das distâncias originais.

4. Conclusões

O artigo explorou, pela metodologia baseada em redes, algumas das características topológicas dessas estruturas no mercado brasileiro de ações. A análise foi baseada nas metodologias de algoritmos de redução dimensional, análise de agrupamentos e centralidade. A visualização da rede pela árvore geradora mínima e a construção do escalonamento multidimensional por métricas baseada em grafos e sua posterior visualização bidimensional mostra-se uma possibilidade interessante para o estudo de redes. Verificamos que este ilustrou satisfatoriamente a estrutura do mercado acionário brasileiro, evidenciando uma dimensão tradicional do mercado, o risco setorial. Ainda, foi mostrado como a medida de centralidade baseada em autovetores se aplica ao mercado como medida de risco geral de dependência que uma ação deve ter em relação às demais que estão ligadas àquela. À este conceito, demos o nome de 'caminhos de volatilidade'.

Alguns autores ponderam a existência de um pequeno número de fatores direcionando as dinâmicas estocásticas dos retornos dos ativos no mercado financeiro [Mantegna and Stanley 1999, Bonanno et al. 2001]. Assim, a abordagem via escalonamento multidimensional, a partir das estatísticas da rede de correlação de ativos parece ser boa alternativa à visualização de tais dimensões ou fatores.

Concluindo, a proposta aqui apresentada precisa de estudos mais profundos para



Figura 3. Representação do EMD baseado em árvore geradora mínima (AGM). Os nós foram evidenciados a fim de não se sobrepossem uns aos outros. A medida de *stress* S é igual a 0,049. Neste caso, como $S \neq 0$, a utilização do EMD sobre a AGM ainda conseguiu simplificar a visualização de informação nos dados, além do que seria obtido somente via AGM. As cores representam os grupos da AGM.

validar de forma mais precisa os resultados obtidos pela análise de centralidade, como a correlação entre centralidade e o retorno das ações, bem como estudar possíveis dimensões encontradas a partir do uso do escalonamento multidimensional. Também faz-se interessante o uso de outras medidas de dependência, particularmente medidas que incluam dependências não lineares, a fim de encontrar outros padrões que possam caracterizar o comportamento do mercado financeiro. Estes e outros temas estão em fase de desenvolvimento por estes autores. Por fim, esperamos que este trabalho contribua para que pesquisadores, investidores e gestores possam usar tais métodos para auxiliar na tomada de decisão de investimentos, dessa forma, interligando características estatísticas da rede com fatores econômico-financeiros das ações.

Agradecimentos: Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro.

Referências

- Barabasi, A.-L. (2016). *Network Science*. Cambridge University Press, Cambridge CB2 8BS, United Kingdom.
- Bonanno, G., Caldarelli, G., Lillo, F., Micciche, S., Vandewalle, N., and Mantegna, R. N. (2004). Networks of equities in financial markets. *The European Physical Journal B - Condensed Matter*, 38(2):363–371.
- Bonanno, G., Lillo, F., and Mantegna, R. N. (2001). Levels of complexity in financial markets. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 299(1-2):16–27.
- Brida, J. G. and Risso, W. A. (2008). Multidimensional minimal spanning tree: The dow jones case. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 387(21):5205–5210.
- Coelho, R., Gilmore, C. G., Lucey, B., Richmond, P., and Hutzler, S. (2007). The evolution of interdependence in world equity markets from minimum spanning trees. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 376:455–466.
- Cormen, T., Leiserson, C., Rivest, R., and Stein, C. (2001). *Introduction to Algorithms, Second Edition*. Cambridge, Massachusetts London, England.
- Di Matteo, T., Pozzi, F., and Aste, T. (2010). The use of dynamical networks to detect the hierarchical organization of financial market sectors. *Eur. Phys. J. B*, 73(1):3–11.
- Dias, J. (2013). Spanning trees and the eurozone crisis. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 392(23):5974–5984.
- Dionisio, A., Menezes, R., and Mendes, D. A. (2004). Mutual information: a measure of dependency for nonlinear time series. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 344(1-2):326–329.
- Fiedor, P. (2014). Networks in financial markets based on the mutual information rate. *Phys Rev E Stat Nonlin Soft Matter Phys*, 89(5):052801.
- Gilmore, C. G., Lucey, B. M., and Boscia, M. W. (2010). Comovements in government bond markets: A minimum spanning tree analysis. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 389(21):4875–4886.
- Jacomy, M., Venturini, T., Heymann, S., and Bastian, M. (2014). Forceatlas2, a continuous graph layout algorithm for handy network visualization designed for the gephi software. *PLoS ONE*, 9(6):e98679.
- Kruskal, J. B. (1956). On the shortest spanning subtree of a graph and the traveling salesman problem. *Proc. Amer. Math. Soc.*, 7(1):48–48.
- Kruskal, J. B. (1964). Multidimensional scaling by optimizing goodness of fit to a non-metric hypothesis. *Psychometrika*, 29(1):1–27.
- Manly, B. (2004). *Multivariate Statistical Methods: A Primer, Third Edition*. Taylor & Francis.
- Mantegna, R. (1999). Hierarchical structure in financial markets. *Eur. Phys. J. B*, 11(1):193–197.

- Mantegna, R. N. and Stanley, H. E. (1999). *Introduction to Econophysics: Correlations and Complexity in Finance*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Miccichè, S., Bonanno, G., Lillo, F., and N. Mantegna, R. (2003). Degree stability of a minimum spanning tree of price return and volatility. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 324(1-2):66–73.
- Newman, M. (2010). *Networks*. Oxford University Press.
- Sensoy, A. and Tabak, B. M. (2014). Dynamic spanning trees in stock market networks: The case of asia-pacific. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 414:387–402.
- Tumminello, M., Lillo, F., and Mantegna, R. N. (2010). Correlation, hierarchies, and networks in financial markets. *J Econ Behav Organ*, 75(1):40–58.
- Yang, C., Zhu, X., Li, Q., Chen, Y., and Deng, Q. (2014). Research on the evolution of stock correlation based on maximal spanning trees. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 415:1–18.

Detecção de comunidades em redes complexas para identificar gargalos e desperdício de recursos em sistemas de ônibus

Carlos Caminha, Vasco Furtado, Vlândia Pinheiro, Caio Ponte

Laboratório de Engenharia do Conhecimento - Universidade de Fortaleza (UNIFOR) - Caixa Postal 60811-905 - Edson Queiroz, Fortaleza - CE - Brazil

***Abstract.** Recently it was found that the most part of the population of the world is in large metropolises. This population growth brings with it a series of challenges and public transport appears as a recurrent solution to tackle mobility problems in these big cities. In this work, we carried out a case study to help to understand the shortcomings of public transportation in a city via the mining of complex networks representing the supply and demand of public transport. A process of characterization of the supply and demand networks of the bus system of a large Brazilian metropolis was conducted and it also shed light on the potential overload of demand and waste in the supply of resources that can be mitigated through strategies of supply and demand balance.*

***Resumo.** Recentemente foi constatado a maioria da população do globo terrestre está nas grandes metrópoles. Esse crescimento populacional traz consigo uma série de desafios e o transporte público aparece como uma solução recorrente para atacar problemas de mobilidade nessas grandes cidades. Neste trabalho, foi realizado um estudo de caso para ajudar a compreender as deficiências do transporte público através da mineração de redes complexas que representam oferta e demanda de transportes públicos. Foi conduzido um processo de caracterização de redes de oferta e demanda do sistema de ônibus de uma grande metrópole brasileira e o mesmo lançou uma luz sobre potencial sobrecarga da demanda e desperdício na oferta de recursos que podem ser mitigados com estratégias de equilíbrio entre oferta e demanda.*

1. Introdução

A era da informação digital trouxe a necessidade de, a partir de dados diversos e volumosos, criar meios para gerar conhecimento e aplicá-lo com eficácia. Uma das áreas que melhor exemplificam esse contexto é a mobilidade urbana. Sensores e meios digitais registram informações diárias sobre trilhas de pessoas, tornando-se uma entrada rica para a realização de estudos para a compreensão da mobilidade humana e seu impacto no transporte público.

Um exemplo de sistema largamente sensoriado é o sistema de ônibus de uma grande metrópole. Com sensores como GPS (*Global Positioning System*), que registram por onde os veículos trafegam, e sistema de bilhetagem, que registram o pagamento e tarifas por parte dos passageiros, são gerados diariamente imensos bancos de dados e um grande desafio é extrair informações que tenham potencial de identificar falhas que deixam usuários do sistema insatisfeitos, como por exemplo a superlotação de veículos.

Ao longo dos anos inúmeros trabalhos trataram de analisar oferta e demanda de sistemas de ônibus [Chang and Schonfeld 1991], [Oppenheim 1995], [Domencich and McFadden 1975] e dois aspectos se mostraram particularmente desafiadores ao avaliar ocupação extrema (veículos lotados ou vazios). Primeiro, a ausência de sensores que permitam que a demanda seja mensurada por completo. Em muitos sistemas de bilhetagem só é registrado o momento em que o usuário sobe nos veículos, sendo necessário fazer uso de heurísticas para estimar onde o usuário desceu [Gordillo 2006], [Hua-ling 2007]. Essa limitação dificulta a avaliação da lotação dos veículos, obrigando analistas a comparar a oferta, que é completamente conhecida, com a demanda que muitas vezes é analisada com amostras pouco significativas. O segundo desafio ao avaliar ocupação extrema em redes de transporte coletivo é que a complexidade das conexões desses sistemas dificulta a percepção de gargalos. Nesse tipo de sistema é comum avaliar conexões fracas de oferta como possíveis pontos de gargalo, no entanto somente uma avaliação topológica dos subcomponentes que cercam essas arestas pode confirmar a existência do problema [GAO et al 2005].

Diante dessa problemática, uma estratégia que se mostra adequada para compreensão desse tipo de fenômeno é a utilização de redes complexas. O potencial desse tipo de instrumento para tratar problemas que exigem a necessidade de abstração de aspectos como o desconhecimento de parte dos dados, aliado a riqueza de métricas e algoritmos já existentes no estado da arte, justificam sua aplicação para resolver uma série de problemas. Observa-se recentemente uma quantidade significativa de trabalhos que modelam redes para compreensão de sistemas complexos no contexto de transporte aéreo [Wang et al. 2011], ferroviário [Lenormand et al. 2014], urbano [Munizaga and Palma 2012] e bicicletas [Hamon et al. 2013]. Em geral, estes estudos visam caracterizar redes utilizando métricas como a distribuição de peso, comprimento médio do caminho e coeficiente de agrupamento. O trabalho de [Sienkiewicz and Hołyst 2005], por exemplo, comparou o sistema de transporte público em 22 cidades da Polônia. Entre outras características, os autores mostraram que a distribuição de graus e pesos segue uma lei de potência hierarquicamente organizada.

O trabalho apresentado em [Elmasry and McCann 2003] é particularmente relevante neste contexto e é complementar ao nosso. O artigo apresenta um algoritmo para detectar gargalos em uma rede congestionada de grande escala comutada por pacotes. A abordagem baseia-se na estimativa do valor esperado de atraso em trechos da rede (trechos estes representados por arestas de um grafo) e na conversão deste valor esperado para um peso por ligação.

Neste artigo, temos como principal objetivo compreender como a oferta do sistema de ônibus de uma grande metrópole se relaciona com a sua respectiva demanda. Será descrita uma experiência com a cidade de Fortaleza, uma grande metrópole brasileira, no âmbito do seu projeto para *Smart City*. Usando uma rede de oferta reconstruída a partir de dados de GPS de ônibus em [Caminha et al. 2016], e uma rede que representa a demanda do sistema de ônibus na cidade estimada a partir de um algoritmo heurístico em [Caminha et al. 2017], foi realizada uma caracterização que revelou um desequilíbrio global do sistema. Além disso, uma estratégia baseada em detecção de comunidades nos levou a identificar trechos da rede de transporte público com problemas, como gargalos e/ou desperdício de recursos.

Além desta introdução, este artigo é dividido em cinco seções. Na seção dois são descritos os conjuntos de dados utilizados. Na seção três são detalhadas as estratégias utilizadas para encontrar desequilíbrios globais nas redes de oferta e demanda. Na seção quatro é descrito como foram utilizadas técnicas de detecção de comunidades para encontrar pontos da rede onde potencialmente existem gargalos ou desperdício de recursos. Por fim, na seção cinco, são feitas as considerações finais acerca deste trabalho.

2. Conjunto de dados

A rede de oferta pode ser definida como um grafo dirigido, $G(V, E)$, com vértices, $v \in V$, representando as paradas e arestas de ônibus, $e \in E$, entre dois pontos de ônibus. Formalmente o peso da aresta, $w_{v_i \rightarrow v_j}$, representa a oferta de ônibus entre duas paradas de ônibus v_i e $v_j \in V$. Esta oferta foi calculada a partir do somatório do peso das linhas de ônibus, w_{Li} , que passam por dois pontos de ônibus. Formalmente $w_{v_i \rightarrow v_j} = \sum_{i=1}^N w_{Li}$, onde N é o número total de linhas de ônibus que visitam, em sequência, v_i e v_j . Por sua vez, o peso das linhas de ônibus, é calculado a partir do produto da quantidade de veículos alocados na linha Li , V_{Li} , pelo número de viagens que cada veículo faz em um dia em Li , C_{Li} . Ou seja, $w_{Li} = V_{Li}C_{Li}$. Ao todo, essa rede possui 4783 vértices e 5876 arestas e foi produzida em [Caminha et. al. 2016].

A rede de demanda foi produzida em [Caminha et al. 2017]. No processo de reconstrução dos caminhos dos usuários foi suposto que as trajetórias dos usuários de ônibus são definidas pela composição das rotas dos ônibus que os levam entre seu pares origem-destino. Neste contexto, foram reconstruídas as trajetórias de usuários de ônibus como um grafo dirigido $G(V, E)$, onde V e E são o conjunto de vértices v e arestas e , respectivamente. Uma aresta e entre os vértices v_i e v_j é definida pelo par ordenado (v_i, v_j) . Nessa rede, os vértices representam paradas de ônibus e as arestas representam a demanda de usuários de ônibus entre dois pontos de ônibus consecutivos. Para cada aresta, e , que liga um par ordenado (v_i, v_j) é definido um peso, w_{Eij} , que soma o total de usuários que passaram por e . Ao todo, essa rede possui os mesmos 4783 vértices e 5876 arestas existentes na rede de oferta. O único aspecto que difere as redes é o peso das arestas, na rede de oferta esse peso é mensurado em quantidade de veículos que ofertam rotas e na rede de demanda o mesmo é mensurada em quantidade de pessoas que passaram dentro dos ônibus. Vale ainda ressaltar que a rede de demanda representa apenas uma amostra da necessidade da população, mesmo assim [Caminha et al. 2017] argumentam que sua amostra representa 40% da demanda de ônibus da cidade, uma das maiores amostras de demanda de sistema de ônibus que se tem notícia.

Tanto a rede de oferta quanto a rede de demanda possuem dados do dia 11 de março de 2015. Uma quarta-feira, dia útil na cidade. A Figura 1 ilustra a disposição geográfica das paradas de ônibus e suas conexões.



Figura 1. Estrutura da rede de ônibus de fortaleza. Os vértices foram georreferenciados para melhor visualização.

3. Caracterização de redes de oferta e demanda para encontrar desequilíbrios globais

Nesta seção será descrito o processo de caracterização das redes oferta e demanda do sistema de ônibus de Fortaleza. Para permitir comparações, os pesos das arestas das duas redes foram normalizados. Na rede de demanda, para cada aresta, e_d , o peso, w_d , que descreve a demanda de passageiros entre dois pontos de ônibus, foi normalizado pela razão w_d/w_{dmax} onde w_{dmax} é o maior peso registrado na rede. Para a rede de oferta utilizou-se a mesma estratégia para calcular o peso que, nesse caso, representa a quantidade de ônibus disponíveis. Note-se que ambas as redes têm a mesma distribuição de graus, isto é, para cada aresta na rede de oferta há uma aresta correspondente na rede de demanda, essas redes diferem somente em relação aos seus pesos de arestas.

A Figura 2 ilustra a distribuição de pesos das arestas para as duas redes. E (a) observa-se uma lei de potência [Barabási et al. 2000] [Clauset et al. 2009] com expoente $\alpha = -2.90$ para a rede de oferta. Este resultado sugere que esta rede foi projetada para oferecer um elevado número de recursos em poucos lugares e poucos recursos em vários locais. Da mesma forma, uma lei de potência pode ser observada para a rede de demanda na Figura 2 (b). O expoente $\alpha = -1.97$ indica que há poucos lugares com alta demanda e vários lugares com baixa demanda. Em (a), a linha verde mostra a regressão aplicada aos dados da rede de oferta. Em (b) a regressão é representada pela linha laranja para os dados da demanda. As linhas tracejadas azuis representam os intervalos de confiança estimados com o método de Nadaraya Watson [Nadaraya 1964] [Watson 1964]. As distribuições foram geradas usando 50 beans logarítmicos.

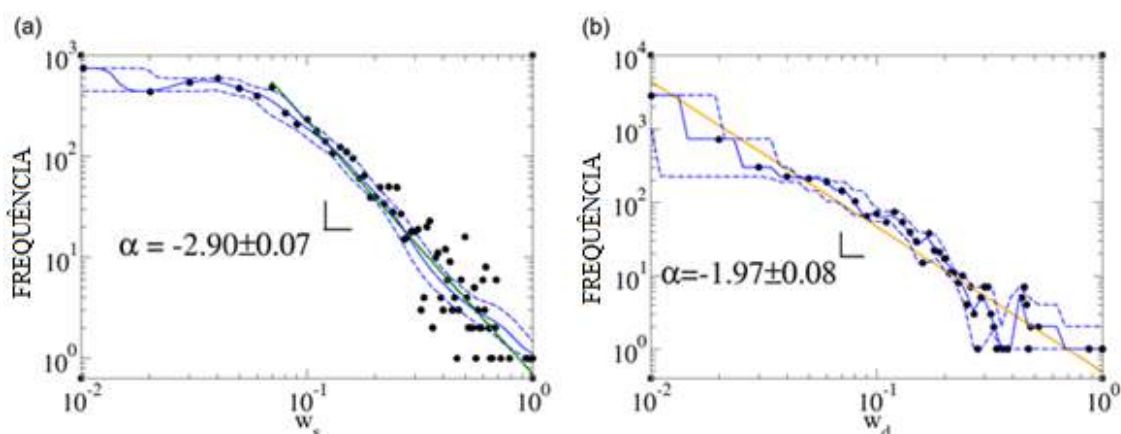


Figura 2. Distribuição de pesos das arestas das redes de oferta e demanda.

Apesar das distribuições apresentarem similaridade em termos de escala, isso não implica necessariamente que as redes estejam equilibradas. A primeira sugestão de desequilíbrio é a diferença entre os expoentes, o volume de concentração em poucos lugares é muito mais intenso na rede de oferta. A Figura 3 ilustra a diferença na inclinação das retas estimadas. A linha verde ilustra a regressão estimada na rede de oferta e a linha laranja é a regressão estimada para a distribuição dos pesos das arestas da rede de demanda.

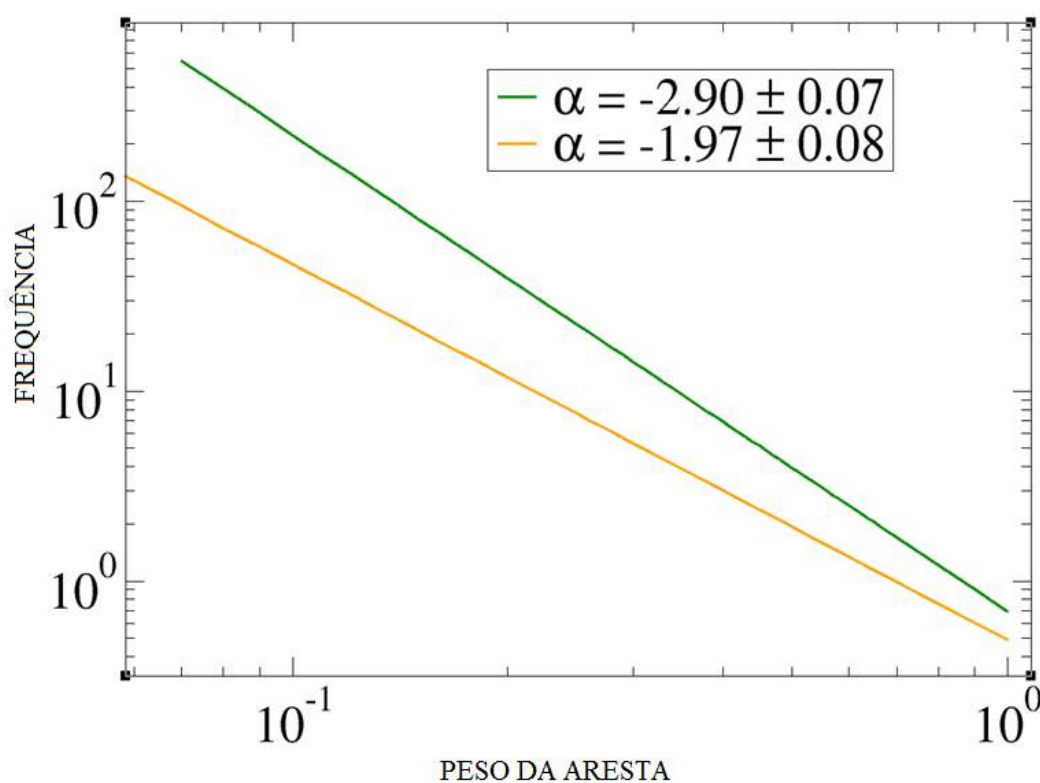


Figura 3. Comparação entre as escalas das leis de potência encontradas.

Ainda na distribuição de pesos das arestas das redes, na Figura 4 é ilustrada a distribuição cumulativa desses dados. A curva laranja mostra que a rede de demanda acumula mais arestas com pesos pequenos que a rede de oferta, as probabilidades são iguais nas duas redes e arestas com peso 0,16. Essa é outra sugestão de desequilíbrio devido às diferenças entre as probabilidades acumuladas em ambas as redes.

Foi investigado também se as redes poderiam ser divididas em comunidades com alto coeficiente de agrupamento e baixa conectividade com outras comunidades. Para a rede de oferta isso pode indicar a existência de áreas onde o suprimento de ônibus é privilegiado (dentro das comunidades) e também gargalos (arestas fracas) entre essas áreas. Foi utilizado o algoritmo [Blondel et al. 2008] para detectar as comunidades. Esse algoritmo faz uso de um método heurístico baseado na otimização da modularidade de grafos. A modularidade de um conjunto de vértices é medida por um valor real entre 0 e 1, sendo calculada pela relação entre a quantidade de arestas que conectam os elementos do conjunto entre si pelo total das arestas do conjunto de vértices [Girvan 2002] [Wilkinson 2004]. O algoritmo pode ser dividido em duas fases que são repetidas iterativamente. Na primeira fase é atribuída uma comunidade diferente para cada nó de rede. Assim, nesta divisão inicial há tantas comunidades quanto vértices. Para cada nó i é considerado cada um de seus vizinhos j , e é avaliado o ganho de modularidade ao mover i de sua comunidade para a comunidade de j . O nó i é então colocado na comunidade para o qual esse ganho é máximo, mas somente se esse ganho for positivo. Se nenhum ganho positivo é possível, o nó i permanece em sua comunidade original. Este processo é aplicado a todos os vértices repetidamente até que nenhuma melhoria possa ser alcançada e assim a primeira fase é completada. A segunda fase do algoritmo consiste na construção de uma nova rede cujos vértices são comunidades encontradas durante a primeira fase. Para fazer isso, os pesos das conexões entre os novos vértices são dados pela soma do peso das conexões entre os vértices nas duas comunidades correspondentes. As conexões entre os vértices da mesma comunidade são representadas por auto relacionamentos. As fases são repetidas até que a modularidade global máxima seja encontrada.

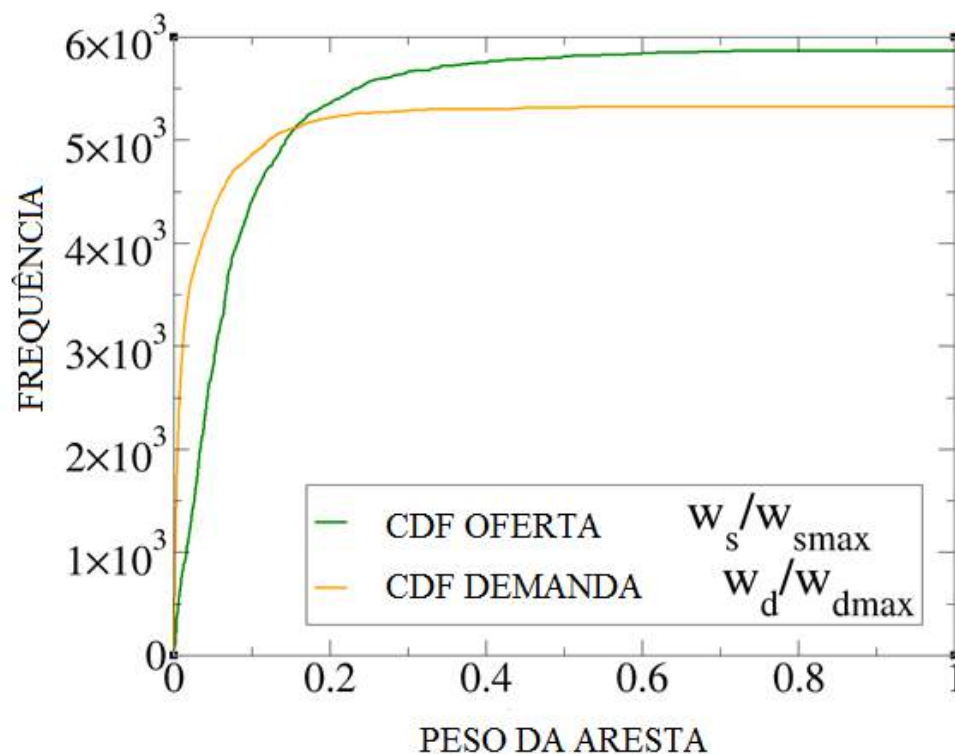


Figura 4. Distribuições cumulativas dos pesos das arestas nas redes estudadas.

A Figura 5 ilustra o aumento da modularidade quando a rede é dividida em mais comunidades. A linha verde ilustra a modularidade da rede de oferta na medida em que a

rede é dividida em mais comunidades. A linha laranja ilustra o comportamento de modularidade da rede de demanda. A modularidade da rede de oferta é maior do que a rede de demanda em praticamente todas as configurações, mais precisamente, as modularidades das redes só convergem quando o número de comunidades é inferior a 10, aproximadamente. Esse resultado revela que a rede de oferta parece ser projetada para atender a movimentos mais curtos do que o fato de que as pessoas precisam. Os valores de modularidade encontrados na rede de oferta indicam que as arestas dentro das comunidades dessa rede são mais fortes do que as arestas encontradas nas comunidades da rede de demanda, possivelmente porque os usuários do sistema de ônibus viajam por trechos mais logos que o esperado, aumentando o peso das arestas nesses locais e impedindo que algoritmos de detecção de comunidade encontrem configurações modulares como as encontradas na rede de oferta.

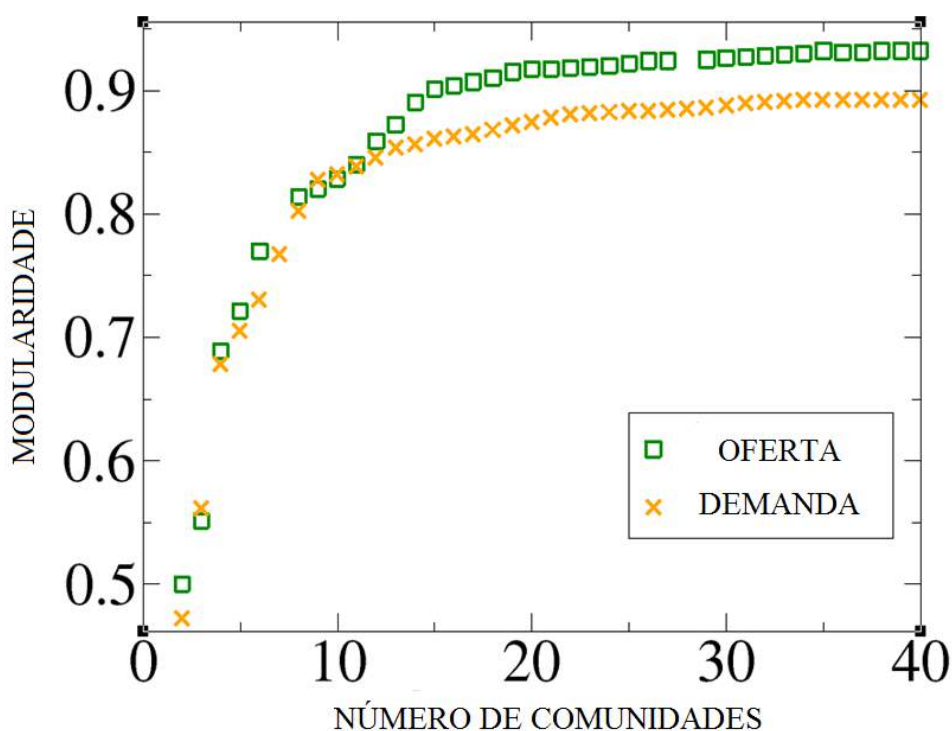


Figura 5. Comparação entre a modularidade das duas redes.

4. Detecção de comunidades para encontrar gargalos e desperdício de recursos

Verificou-se que a demanda e a oferta de ônibus em Fortaleza é significativamente alterada em intervalos de três horas, com picos de uso das 5:00 às 8:00 e das 17:00 às 20:00. Por esse motivo foram geradas redes de oferta e demanda para os seguintes intervalos de tempo: De 2:01 às 5:00; 5:01 às 8:00; 8:01 às 11:00, 11:01 às 14:00; 14:01 às 17:00.; 17:01 às 20:00; 20:01 às 23:00; e das 23:01 as 2:00. O intervalo onde a rede é mais utilizada é de 5:01 às 8:00, por esse motivo vamos concentrar nossa análise neste período.

Em redes equilibradas, onde a oferta cresce em proporção direta ao crescimento da demanda, espera-se que haja uma relação isométrica entre volumes de oferta e demanda [Banavar et al 2002]. A Figura 6 ilustra a correlação entre os pesos das arestas das redes de oferta e demanda no intervalo das 5:01 às 8:00 da manhã. Cada ponto preto

representa uma aresta. O eixo x representa o peso de arestas na rede de oferta e o eixo y o peso de arestas na rede de demanda. A linha vermelha é a regressão aplicada aos dados. As linhas tracejadas a azul ilustram os intervalos de confiança estimados com o método Nadaraya Watson. Os dados são mostrados em escala logarítmica. A baixa correlação, $R^2 = 0,53$, revela um crescimento não correlacionado, indicando mais uma vez desequilíbrio entre oferta e demanda. O valor de $\beta = 1.24$, para uma equação do tipo $Y = aX^\beta$, não revela qualquer relação isométrica [Kleiber 1961]. Acima da reta vermelha (regressão linear) estão as arestas (ou trechos da rede), onde a demanda é proporcionalmente maior que a oferta. No entanto, chama a atenção para a maior concentração de pontos abaixo da linha de regressão, indicando que há partes da cidade em que os recursos oferecidos são, proporcionalmente, maiores do que a demanda existente na região. Isso sinaliza que se pode melhor atender a demanda da rede sem a necessidade de aumentar o custo operacional da mesma, apenas tentando equilibrar a oferta em algumas partes da cidade.

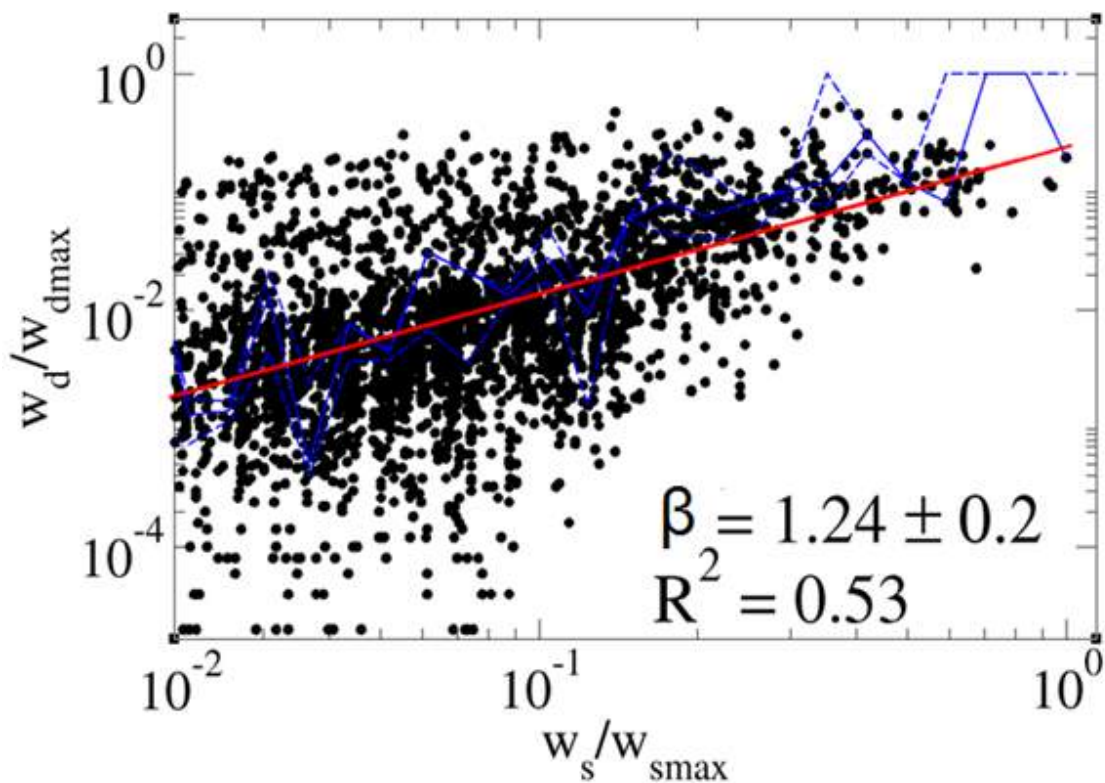


Figura 6. Correlação entre o volume de suprimento e o volume de demanda em todas as arestas da rede no intervalo das 5:00 às 8:00 da manhã.

Na Figura 7 (a) são ilustrados trechos da rede de oferta onde a mesma está sobrecarregada, esses trechos são percorridos por linhas de ônibus que possivelmente estão com veículos lotados. Esses trechos foram identificados a partir das arestas removidas pelo método de detecção de comunidades, detalhado na seção anterior. Uma aresta fraca removida (por um método de detecção de comunidades) da rede de oferta pode significar um gargalo de oferta, pois essa aresta conecta movimentos intercomunidades que já se mostraram predominantes [Caminha et al 2016]. Em todas as arestas removidas foi calculado o índice de sobrecarga $IS = w_s/w_{smax} - w_d/w_{dmax}$. Arestas com $IS < 0$ são trechos onde proporcionalmente a oferta é maior que a demanda,

e potencialmente onde estão os gargalos. Observou-se ainda que as linhas de ônibus que possuem gargalo normalmente levam pessoas ao centro da cidade (destacado pelo círculo vermelho).

Na Figura 7 (b) são ilustrados trechos da rede onde potencialmente os ocorrem desperdício de recursos, ou seja, ônibus vazios. Esses trechos foram identificados a partir das arestas removidas pelo método de detecção de comunidades, agora na rede de demanda. Métodos de detecção de comunidades removem conexões fracas entre componentes com alto coeficiente de agrupamento, que no caso da rede de demanda são sub-regiões de fluxo intenso de passageiros. Nesse contexto, as arestas eliminadas pelo método em questão representam trechos da rede de baixo fluxo de passageiros, onde potencialmente podem ocorrer desperdícios de recursos. De forma similar ao que foi feito na oferta, calculamos o índice de desperdício $ID = w_d/w_{dmax} - w_s/w_{smax}$, onde arestas com $ID < 0$ representam trechos onde proporcionalmente a demanda é maior que a oferta, e por consequência onde estão sendo desperdiçados recursos.



Figura 7. Trechos da rede onde foram encontrados gargalos e desperdício de recursos.

O índice, IS , proposto identificou que as linhas 503, 029, 014, 605, 725, 379, 087, 325, 316, 013, 130, 815, 030, 077, 011, 650, 755, 361, 612 e 075 têm trechos em seus itinerários onde os veículos se encontram lotados. Já ID identificou que as linhas 394, 315, 024, 220, 605, 709, 087, 013, 050, 311 e 317 estão em algum momento de seu itinerário praticamente vazias. Em validação *in loco* com profissionais da ETUFOR (Empresa de Transporte Urbano de Fortaleza) nos foi reportado que é conhecido que em alguns dias da semana as linhas 503, 029, 014, 605, 725, 379, 087, 325, 316, 013, 130, 815, 030, 077, 075 e 011 estão lotadas nos trechos destacados. Quanto as linhas 650, 755, 361 e 612 os profissionais se mostraram surpresos que as mesmas estejam lotadas, e informaram que as mesmas serão avaliadas em ações futuras. Sobre as linhas com poucos passageiros os profissionais preferiram não opinar. Foi justificado que é difícil saber se uma linha está com poucos passageiros em um determinado horário, pois esse fato não gera reclamação por parte dos usuários.

5. Considerações finais

Este trabalho explorou a oferta e a demanda do sistema de ônibus de Fortaleza, uma grande metrópole brasileira. Algoritmos e métricas de redes complexas foram usados para explorar o desequilíbrio entre o que o poder público oferece e o que a população necessita. Em nível macro, as diferenças entre as redes de oferta e demanda em suas respectivas distribuições de densidade de pesos das arestas, distribuições cumuladas de peso das arestas e nível de modularidade, revelaram um desequilíbrio global no sistema. Em nível micro, foi desenvolvido um modelo que faz uso de técnicas de detecção de comunidades para identificar onde estão os gargalos e onde estão sendo desperdiçados recursos. Esse modelo se mostrou promissor mesmo em situações onde não é possível ter informações completas a respeito da demanda de passageiros.

Como trabalhos futuros, foi identificada a necessidade de construir um simulador capaz de reproduzir a dinâmica da mobilidade humana, através do sistema de ônibus, em uma grande metrópole, fazendo uso de mineração de dados para estimar funções de probabilidade que representem a demanda real de um sistema de ônibus. De posse desse simulador, será possível validar a aplicação de técnicas de balanceamento da rede de oferta, testando o seu equilíbrio com a rede de demanda. Paralelamente será possível também alterar sinteticamente a demanda a fim de enquadrá-la na oferta, em um cenário real, a alteração da demanda pode ser alcançada através da execução políticas públicas, como criação de terminais em pontos ótimos de baldeação, campanhas de educação no uso do sistema e micro intervenções no espaço urbano (*e.g.* incentivo fiscal para criação de oportunidades de emprego em áreas em que a oferta é subutilizada).

References

- Banavar, J. R., Damuth, J., Maritan, A., and Rinaldo, A. (2002). Supply–demand balance and metabolic scaling. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(16), 10506-10509.
- Barabási, A. L., Albert, R., and Jeong, H. (2000). Scale-free characteristics of random networks: the topology of the world-wide web. *Physica A: statistical mechanics and its applications*, 281(1), 69-77.
- Blondel, V. D., Guillaume, J. L., Lambiotte, R., and Lefebvre, E. (2008). Fast unfolding of communities in large networks. *Journal of statistical mechanics: theory and experiment*, 2008(10), P10008.
- Caminha, C., Furtado, F., Pinheiro, V., and Ponte, P. (2016) Micro-interventions in urban transportation from pattern discovery on the flow of passengers and on the bus network. In *Smart Cities Conference (ISC2), 2016 IEEE International*, pp. 1–6, IEEE.
- Caminha C, Furtado V, Pequeno THC, Ponte C, Melo HPM, Oliveira EA, et al. (2017) Human mobility in large cities as a proxy for crime. *PLoS ONE* 12(2): e0171609. doi:10.1371/journal.pone.0171609
- Chang, S. K., and Schonfeld, P. M. (1991). Multiple period optimization of bus transit systems. *Transportation Research Part B: Methodological*, 25(6), 453-478.

- Chaves, L. (2015). Analisando a mobilidade de pesquisadores através de registros curriculares na Plataforma Lattes. IV Brazilian Workshop on Social Network Analysis and Mining (BraSNAM 2015)
- Clauset, A., Shalizi, C. R., and Newman, M. E. (2009). Power-law distributions in empirical data. *SIAM review*, 51(4), 661-703.
- Domencich, T. A., and McFadden, D. (1975). Urban travel demand-a behavioral analysis (No. Monograph).
- Elmasry, G. F., and McCann, C. J. (2003, October). Bottleneck discovery in large-scale networks based on the expected value of per-hop delay. In *Military Communications Conference, 2003. MILCOM'03. 2003 IEEE* (Vol. 1, pp. 405-410). IEEE.
- GAO, Z. Y., Wu, J. J., Mao, B. H., and Huang, H. J. (2005). Study on the complexity of traffic networks and related problems [J]. *Communication and Transportation Systems Engineering and Information*, 2, 014.
- Girvan, M., and Newman, M. E. (2002). Community structure in social and biological networks. *Proceedings of the national academy of sciences*, 99(12), 7821-7826.
- Gordillo, F. (2006). The value of automated fare collection data for transit planning: an example of rail transit od matrix estimation (Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology).
- Hamon, R., Borgnat, P., Flandrin, P., and Robardet, C. (2013). Networks as signals, with an application to a bike sharing system. In *Global Conference on Signal and Information Processing (GlobalSIP), 2013 IEEE* (pp. 611-614). IEEE.
- Hua-ling, R. (2007, August). Origin-destination demands estimation in congested dynamic transit networks. In *Management Science and Engineering, 2007. ICMSE 2007. International Conference on* (pp. 2247-2252). IEEE.
- Kleiber, M. (1961). *The fire of life. An introduction to animal energetics. The fire of life. An introduction to animal energetics.*
- Lenormand, M., Tugores, A., Colet, P., and Ramasco, JJ (2014). Tweets na estrada. *PloS one*, 9 (8), e105407.
- Munizaga, M. A., and Palma, C. (2012). Estimation of a disaggregate multimodal public transport Origin–Destination matrix from passive smartcard data from Santiago, Chile. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 24, 9-18.
- Nadaraya, E. A. (1964). On estimating regression. *Theory of Probability & Its Applications*, 9(1), 141-142.
- Oppenheim, N. (1995). *Urban travel demand modeling: from individual choices to general equilibrium.* John Wiley and Sons.
- Sienkiewicz, J., and Hołyst, J. A. (2005). Statistical analysis of 22 public transport networks in Poland. *Physical Review E*, 72(4), 046127.
- Wang, J., Mo, H., Wang, F., and Jin, F. (2011). Exploring the network structure and nodal centrality of China's air transport network: A complex network approach. *Journal of Transport Geography*, 19(4), 712-721.

- Watson, G. S. (1964). Smooth regression analysis. *Sankhyā: The Indian Journal of Statistics, Series A*, 359-372.
- Wilkinson, D. M., and Huberman, B. A. (2004). A method for finding communities of related genes. *proceedings of the national Academy of sciences*, 101(suppl 1), 5241-5248.

Métricas para análise de poder em redes sociais e sua aplicação nas doações de campanha para o Senado Federal brasileiro

Letícia Verona¹, Jonice Oliveira¹, Maria Luiza Machado Campos¹

Programa de Pós-Graduação em Informática (PPGI)
Universidade Federal do Rio de Janeiro - (UFRJ) - Rio de Janeiro - RJ

leticiaverona@ufrj.br, jonice@dcc.ufrj.br, mluiza@nce.ufrj.br

Abstract. *The analysis of how much one actor has over another is crucial to understanding what interests their actions are subordinate to. This paper presents metrics based on the theoretical bases of sociology that reflect the imbalance between relationships, the main source of power in a social network. These metrics are applied to the relationship between each pair of nodes, and are computed to accomplish the entire power structure of the network. As an instrument of empirical validation, a case study was made with the electoral donations received by parties and senators in the campaigns of 2010 and 2014. The application of the metrics allowed to highlight some corporate and party interests existing today in the Brazilian Federal Senate.*

Resumo. *A análise de quanto poder um ator tem sobre o outro é fundamental para entender a que interesses suas ações estão subordinadas. Este trabalho apresenta métricas para a análise fundamentado em bases teóricas da sociologia que refletem o desequilíbrio entre as relações, principal fonte de poder em uma rede social. Métricas que se aplicam ao relacionamento entre cada par de nós, e são calculadas em relação a toda a estrutura de poder da rede. Como instrumento de validação empírico foi feito estudo de caso com as doações eleitorais recebidas por partidos e senadores nas campanhas de 2010 e 2014. A aplicação das métricas permitiu evidenciar alguns interesses corporativos e partidários existentes hoje no Senado Federal brasileiro.*

1. Introdução

Poder é a capacidade de um agente de impor a sua vontade sobre a de outro, baseando-se em forças de dominação intrínsecas à sociedade [Castells 2011]. Um dos aspectos evidenciado por teorias sociológicas, como em [Emerson 1976] é que o poder em uma rede social é um processo dinâmico, um embate entre forças que competem para obter mais influência em seu favor. O controle e a troca de recursos são pontos pivotais na obtenção de poder. Sejam recursos financeiros, controle de disseminação de mídia, regulamentação de leis ou qualquer outro recurso de valor para a rede, quem controla e negocia estes recursos se fortalece. Para realizar essas trocas são necessárias habilidades específicas para a sociedade em rede: fazer conexões com outras redes, proteger seus parceiros de outros competidores, e se possível, controlar os protocolos de negociação e comunicação. Buscamos através destas bases teóricas analisar o poder estabelecido em uma rede onde a

transferência de recursos ocorre: a rede formada pelas doações de campanha ao Senado em 2010 e 2014.

A natureza competitiva da obtenção de poder é relacional, logo o poder não é um atributo absoluto de um ator da rede. O poder é exercido *por* um agente *sobre* outro e deve ser medido em relação a aresta, e não aos nós da rede. Para medir este poder em uma rede de troca de recursos propomos explorar uma métrica de avaliação de quanto a troca em questão é importante para cada um dos nós da relação. Para tal, considerando que a rede é direcional, criamos duas medidas auxiliares: influencia política (*political influence*) e barganha (*bargain*), ambas calculadas sobre a aresta, em direções opostas. O poder (*power*) é a relação (ou desequilíbrio) entre estes dois fatores. Para ser aderente às bases teóricas utilizadas, uma premissa é que a aresta tenha o significado específico, que é a transferência de recursos de valor entre os nós.

A rede social das doações de campanha para o Senado Federal brasileiro nas campanhas de 2010 e 2014 foi analisada, buscando entender quais são os interesses e forças que atuam sobre os legisladores e o quanto sua independência pode ser aferida. Os resultados da análise mostraram que as grandes empresas doadoras concentram suas doações em grandes partidos, buscando controle global e diversificado sobre os senadores. Empresas locais e de menor porte fazem doações mais personalizadas a comitês individuais. Alguns senadores possuem uma situação de independência e outros têm um vínculo mais estreito com o partido. Por fim, partidos grandes atuam como pontes de recursos entre as grandes empresas e os partidos menores, obtendo poder sobre eles. O estudo permitiu a obtenção de um mapa de intenções e interesses do Senado e mostrou ser eficiente para entender as dinâmicas de troca de recursos.

O restante do artigo está organizado da seguinte maneira: na Seção 2 é apresentada a formulação teórica sobre poder. Na Seção 3 o processo de análise é detalhado e suas fórmulas apresentadas. O estudo de caso e a rede social do Senado Federal são apresentados na Seção 4. Na Seção 5 são apresentados os resultados da análise e finalmente, na Seção 6 são discutidas as limitações do trabalho e sugeridas futuras análises.

2. Abordagens para análise de poder

Poder é um conceito amplamente discutido em diversas áreas das ciências humanas, como a filosofia e a psicologia. Este estudo possui foco na avaliação de poder em redes sociais e para embasar a análise realizada buscamos trabalhos cujo aspecto *social* do poder fosse discutido. As causas e feitos do poder em relações sociais estão presentes em trabalhos das áreas de sociologia e economia há décadas [Marx and Engels 1968] [Hindess 1996] [French et al. 1959]. O tema foi re-potencializado pela configuração da sociedade em rede nas últimas décadas e passou a interessar pesquisadores da Ciência da Computação. Está fora do escopo deste estudo uma revisão de literatura sobre um assunto tão vasto, porém algumas correntes principais de pensamento são descritas a seguir, especialmente aquelas em cujas bases o presente estudo se apoia.

Manuel Castells talvez seja o sociólogo mais influente na análise e compreensão da sociedade contemporânea como uma sociedade em rede. Apesar disto, curiosamente a interface do seu trabalho com a área de análise de redes sociais é pequena, como detalhado em [Anttiroiko 2015]. Para ele, a rede baseada nas tecnologias de informação possibilitou organizacionalmente a transformação da sociedade. Sociedade que migrou das

relações fundamentadas em localização espacial e em relações de produção para fluxos de informação e poder. Um de seus trabalhos [Castells 1996b] é um marco na representação abstrata da sociedade como uma rede de nós interconectados. Enfatiza que esta sociedade conectada é uma sociedade capitalista em progressão, onde o *capital* se torna mais forte ao formar redes, enquanto o lado *trabalho* se torna mais fraco com o individualismo crescente [Castells 1996a]. Vai além, dizendo que os processos globais são cada vez mais regidos por redes econômicas e de informação que medem o valor de pessoas, grupos sociais e até países por sua utilidade (*use value*) na rede.

Ainda para Castells, o poder segue a lógica da construção da rede. “Em um mundo conectado, a habilidade de exercitar controle sobre os outros reside em dois mecanismos básicos: (a) a habilidade de programar ou reprogramar as redes em termos de seus objetivos e protocolos; e (b) a habilidade de conectar e assegurar a cooperação entre diferentes redes através da combinação de recursos ao mesmo tempo que isola de outras através de competição estratégica” [Castells 2011]. Estas duas habilidades estão nomeadas como *programming* e *switching* respectivamente. Ao regular as redes sociais online através da constante reformulação de protocolos ou formatos de mensagens, corporações de mídia estão exercendo seu poder de programação, pois as mensagens devem se adaptar ao novo formato imposto (técnico ou de conteúdo). Assim como [MacLuhan et al. 1967], Castells coloca o poder da comunicação no meio e não no conteúdo. Estas corporações decidem sobre o conteúdo e formato a partir do que vai ao encontro de seus interesses e dos objetivos que eles determinam para a rede: lucro, poder e fabricação de cultura.

Para [Emerson 1976] o poder é definido como uma capacidade estrutural que promove a distribuição desigual de recursos, favorecendo alguns atores em detrimento de outros. Em sua *Teoria do Poder-Dependência* ele enfatiza que o poder é uma propriedade relacional dependente dos recursos trocados e controlados. Atores que têm múltiplas possibilidades de parceiros para negociação e controlam recursos de alto valor são tidos como poderosos na sua rede de troca. O poder dos indivíduos é interdependente, pois está implícito nas relações sociais.

Em [Willer 1999] estes elementos - controle de recursos e opções de negociação - são enriquecidos com o elemento da vantagem, supondo que atores que possuem opções alternativas vantajosas na negociação obtém mais poder no relacionamento através de mecanismos de confrontação. Em [Easley and Kleinberg 2010] os autores discutem como o poder se manifesta entre pares ligados por arestas em uma rede social através de uma relação de troca. Mais ainda, em como indica a ascendência de um nó sobre o outro, especialmente o desequilíbrio da relação.

Especificamente, agentes políticos possuem controle sobre regulamentações, empréstimos de bancos públicos, gestão de obras e muitos outros recursos de grande valor. Para obterem suas posições, através de nomeações ou eleições precisam de recursos financeiros obtidos de outros agentes (por exemplo organizações religiosas, comerciais, militares) cujos interesses ele representam. Nesta relação, o político busca maximizar sua autonomia e o agente externo busca aumentar sua chance de manipulação. [Castells 1996b].

Trabalhos recentes usaram dados de doações de campanha a políticos para analisar a conexão de políticos com corporações. Em [Mancuso et al. 2016] os dados de doações

nas eleições para deputado federal em 2010 são usados para indicar quais são os partidos mais dependentes das corporações em geral dentro do espectro político brasileiro. No estudo [Boas et al. 2014] é explicitada a relação entre as doações de campanha e contratos firmados com o poder público. Também é destacada a longa relação entre políticos de carreira e determinadas empresas, mostrando uma relação de benefício mútuo, frequentemente desvinculada dos interesses da população. O presente estudo difere dos citados pois se propõe calcular o grau de dependência/independência que cada partido ou senador possui.

3. Métricas para a aresta: influência, barganha e poder

Com estes conceitos teóricos no horizonte propomos a criação da métrica poder (*power*), com três características importantes: (i) as hipóteses sobre a natureza do poder herdadas de conceitos sociológicos e assumem que o significado da aresta é a transferência de recursos dentro da rede; (ii) é uma métrica relacional e portanto atribuída às arestas e não aos nós; e (iii) é relativa e não absoluta, de maneira que a mudança em uma aresta se propaga e afeta todas as relações de poder da rede. Foram criadas duas métricas auxiliares que atuam sobre a relação entre os nós: influência política (*political influence*) e poder de barganha (*bargain*). Estas métricas possuem a mesma mecânica e a distinção de nomenclatura reflete apenas a direção da aresta, que reflete de onde vem e para onde vai o recurso financeiro.

A influência política (*political influence*) do nó a em relação ao nó b é um atributo da aresta na mesma direção da mesma. Na Equação 1, $Wedge_{ab}$ é o peso da aresta que liga a e b , e $Windegree_b$ é o grau ponderado de entrada, que corresponde ao total de recursos recebido por b . Significa o quanto esta troca com a representa em relação a tudo que b recebeu. Quanto maior este número, mais a influencia as decisões de b .

Simetricamente, o poder de barganha (*bargain*) aplica uma relação no sentido oposto da aresta, ou seja, no sentido oposto da transferência de recursos, como pode ser visto na Equação 2. Indica o quanto esta mesma troca com b representa sobre o total de recursos transferidos por a .

$$politicalInfluence_{ab} = (Wedge_{ab}/Windegree_b) \quad (1)$$

$$bargain_{ba} = (Wedge_{ab}/Woutdegree_a) \quad (2)$$

Finalmente, o poder relacionado com a aresta segue na mesma direção da mesma e deve refletir o desequilíbrio entre estes dois fatores. Quanto menos equilibrada a relação, mais empoderado será um dos nós no relacionamento. O poder (*power* - Ψ_{ab}) de a sobre b pode ser descrito pela Equação 3.

$$\Psi_{ab} = politicalInfluence_{ab} - bargain_{ba} \quad (3)$$

A relação é mais equilibrada quando a Ψ_{ab} se aproxima de 0. Valores acima de 0 indicam que o nó que é a fonte de recursos é mais poderoso e valores abaixo de 0 indicam que apesar de estar recebendo recursos, o nó destino tem mais poder. Como exemplo de

cálculo seguindo este método, podemos examinar uma rede de troca de recursos simples como a exibida na Figura 1. Queremos responder sobre quais interesses se dá a atuação do nó D. Para fazer isto medimos a relação deste nó com os vizinhos que transferem recursos para ele, como pode ser visto nos cálculos a seguir.

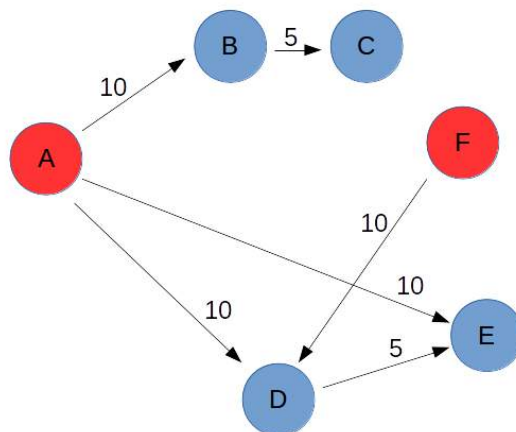


Figura 1. Exemplo de uma rede de troca de recursos simples

$$politicalInfluence_{ad} = 10/20 = 0,5 \quad (4)$$

$$politicalInfluence_{fd} = 10/20 = 0,5 \quad (5)$$

$$bargain_{da} = 10/30 = 0,33 \quad (6)$$

$$bargain_{df} = 10/10 = 1 \quad (7)$$

Como o peso das arestas vindas de A e F são iguais, a influência política destes nós sobre D é idêntica. Porém como A possui outras opções de troca, o poder de barganha de D com este nó é menor do que com F, que só troca com ele e isto interfere decisivamente no poder exercido sobre D.

$$\Psi_{ad} = 0,5 - 0,33 = 0,17 \quad (8)$$

$$\Psi_{fd} = 0,5 - 1 = -0,5 \quad (9)$$

4. A rede social do Senado Federal e seus doadores eleitorais

A Lei de Acesso à Informação, Lei nº 12.527, de 18.12.2011 garante ao cidadão brasileiro o acesso a qualquer informação pública que esteja dentro dos limites descritos na lei. Candidatos a cargos executivos e legislativos devem fornecer à justiça eleitoral a prestação de contas de sua campanha e o Superior Tribunal Eleitoral através do seu Repositório de Dados Eleitorais disponibiliza esta informação publicamente [Tribunal Superior Eleitoral 2016]. Esses dados na sua forma bruta são difíceis de entender, analisar e visualizar. Este estudo busca trazer à tona as relações de poder que envolvem os senadores e as empresas mostrando o que motiva decisões que afetam toda

a população. Para tal, as doações recebidas pelos atuais senadores e seus partidos são o objeto desta análise. O objetivo é determinar o poder que as doações de cada empresa geram.

A rede social dos senadores, partidos e doadores construída sobre estes dados e baseada no valor das doações busca responder às seguintes questões: (i) quais são as empresas que mais doam e como distribuem suas doações; (ii) qual é o papel dos partidos e das suas lideranças na distribuição das doações; (iii) qual o grau de poder que cada empresa possui sobre cada senador.

Para discutirmos como as métricas se aplicam neste caso: uma empresa tem influência política sobre o partido ou o senador que recebe os seus recursos. Um partido pode ter influência política sobre o outro, através da transferência de doações. A influência política, conforme discutido na Seção 3, é calculada usando a relação entre o peso da aresta em questão e o total de doações recebidas por este nó, considerando que os nós competem entre si. Simetricamente, se a empresa doa para somente um senador, o mesmo ganha poder de barganha com a empresa em questão.

Um senador pode ter muito poder de barganha sobre uma empresa, pois a mesma concentra suas doações nele. Entretanto se o senador depende dessas doações de maneira significativa, temos um equilíbrio na relação e portanto o nível de poder da empresa sobre o senador é pequeno. Um senador que depende exclusivamente do seu partido está em uma situação de poder em relação ao partido muito diferente daquele que financia sua própria campanha. Um senador que tem muitos grandes financiadores tem uma posição mais empoderada em relação a cada empresa do que aquele que depende exclusivamente de uma empresa para viabilizar seus gastos de campanha.

4.1. Metodologia de construção da rede social

Para construção da rede social dos senadores, partidos e seus doadores foram utilizados os dados do Tribunal Superior Eleitoral com as doações de campanha para as eleições de 2010 e 2014. Para efeito desta análise foram usadas as doações aos partidos e comitês eleitorais e as doações diretas aos comitês de campanha dos senadores. Os dados utilizados foram limitados a doações acima de dez mil reais. Cabe ressaltar que não foram incluídas na rede doações feitas para comitês individuais de cargos do executivo e de candidatos a deputado estadual e federal.

Com estes dados foram criados nós para cada senador, cada partido e cada doador. Ligando estes nós, arestas direcionadas na direção da doação e com o peso correspondente ao valor doado. Em alguns registros dos dados era indicado o doador originário. Neste caso a doação foi transformada em duas arestas, uma para a doação original (da empresa para o comitê original) e outra para a transferência (do comitê original para o segundo comitê). Partidos políticos possuem vários CNPJs espalhados por diretórios regionais que foram unificados no nó que corresponde ao partido.

Para realização deste estudo foi utilizado o software Gephi com o *plugin* SigmaJS para geração da visualização da rede.

4.2. Resultados

A rede construída pode ser visualizada na Figura 2. Para efeitos de visualização, a cor do nó indica o tipo de nó (partido, senador ou doador) e o tamanho do nó é calculado

com base no grau ponderado do mesmo, que neste caso significa também o montante em dinheiro que trafegou por aquele nó.

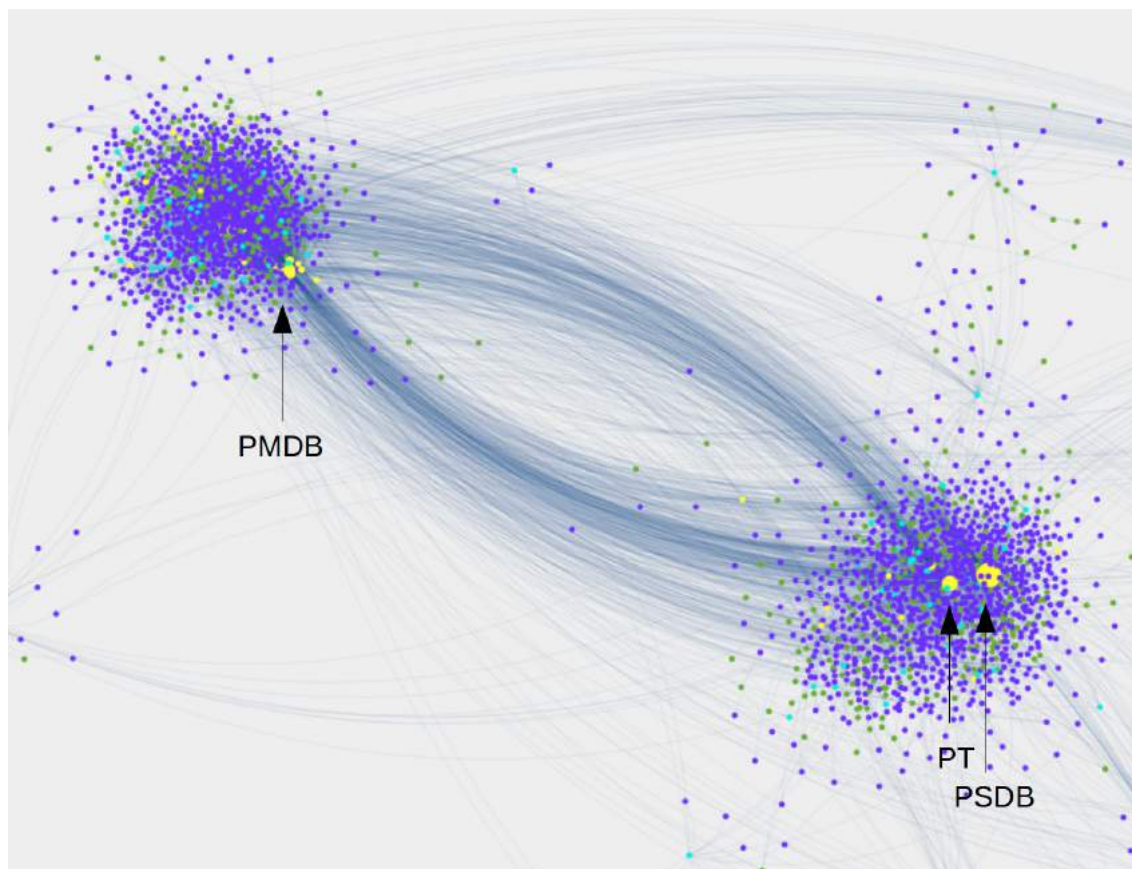


Figura 2. Detalhe da rede social do Senado Federal: partidos e doadores de campanha, indicando a posição dos três maiores partidos.

A visualização da rede gerada está disponível¹, bem como os dados que geram o grafo representando a rede gerada em formato `.gephi`².

5. Análise de Resultados

Antes de aplicar as métricas de poder, analisamos a rede do Senado em relação a algumas métricas tradicionais de análise de redes sociais. Primeiro, foram verificadas as maiores empresas doadoras. A presença de duas empresas de alimentos na lista das dez maiores empresas doadoras chamou a atenção, além do já esperado maciço volume de dinheiro vindo de empreiteiras.

Em relação às métricas, notamos que em alguns casos o volume de dinheiro doado (grau ponderado de saída) não tem uma relação direta com a métrica de *hub* do nó. Um exemplo é mostrado na Tabela 1: a Construtora Andrade Gutierrez S.A., apesar de ter efetuado quase o dobro de doações em volume de dinheiro possui um índice *hub* menor que a Construtora Norberto Odebrecht S.A..

¹<http://bit.ly/2pDFPtd>

²<http://bit.ly/2ppIk6H>

Tabela 1. Maiores empresas doadoras

Empresa	Ramo	Grau saída	Grau ponderado (saída)	Hub
JBS S.A.	Alimentos e Bebidas	39	R\$ 431.835.228,00	0,098
Construtora Andrade Gutierrez S.A.	Empreiteira	15	R\$ 212.460.000,00	0,081
Construtora Queiroz Galvão S.A.	Empreiteira	16	R\$ 126.908.162,00	0,087
Construtora OAS S.A.	Empreiteira	23	R\$ 105.303.088,00	0,082
Construtora Norberto Odebrecht S.A.	Empreiteira	25	R\$ 95.937.824,00	0,092
Arcelormittal Brasil S.A.	Minério e aço	20	R\$ 81.015.280,00	0,079
UTC Engenharia S.A.	Empreiteira	21	R\$ 61.478.640,00	0,079
Carioca Nielsen Engenharia S.A.	Empreiteira	19	R\$ 59.680.000,00	0,086
Cervejaria Petrópolis S.A.	Alimentos e Bebidas	9	R\$ 54.669.608,00	0,047
Amil Assistência Médica Internacional S.A.	Saúde	11	R\$ 53.148.000,00	0,075

As grandes empresas concentram suas doações em partidos e não em comitês individuais. Uma interpretação seria a grande força dos líderes de partidos junto a estas empresas. Outra interpretação possível é que as empresas buscam dissimular seu vínculo direto com um ou outro senador. Na Tabela 2 podem ser vistos os montantes recebidos pelos três partidos mais fortes do Congresso Nacional.

Tabela 2. Maiores partidos em recebimentos de doação

Partido	Grau Entrada	Grau ponderado Entrada	Authority	Hub
PSDB	746	R\$ 861.763.078,00	0,601	0,057
PMDB	579	R\$ 857.877.510,00	0,444	0,070
PT	472	R\$ 397.102.206,00	0,396	0,034

Outro item curioso que a rede nos mostra é que os grandes partidos (PMDB, PSDB e PT) atuam como financiadores de campanha dos partidos menores, atuando como intermediários entre os mesmos e as grandes empresas. Claramente podemos ver aqui um esforço para obter o que Castells chamou de poder de *switching*, onde o nó que faz a conexão entre redes ganha força e protege seus interesses. Na Tabela 3 podemos ver que entre os 10 maiores destinos dos grandes partidos estão outros partidos.

Tabela 3. Maiores destinos de recursos dos partidos PMDB, PSDB e PT

PMDB	Valor doado	PSDB	Valor doado	PT	Valor doado
PSB	R\$ 18.075.976,00	José Serra	R\$ 17.218.456,00	Lindbergh Farias	R\$ 17.965.000,00
Renan Calheiros	R\$ 6.296.796,00	Itamar Franco	R\$ 8.771.137,00	Marta Suplicy	R\$ 8.635.000,00
Simone Tebet	R\$ 6.020.000,00	Aécio Neves	R\$ 5.363.215,00	Maria de Fatima	R\$ 3.610.000,00
Eunício Lopes	R\$ 5.600.000,00	Cassio Cunha Lima	R\$ 3.900.000,00	José Pimentel	R\$ 3.610.000,00
Edison Lobão	R\$ 5.600.000,00	Flexa Ribeiro	R\$ 3.000.000,00	Gleise Hoffman	R\$ 3.420.000,00
José Maranhão	R\$ 3.400.000,00	Lucia Costa	R\$ 1.800.000,00	Paulo Rocha	R\$ 2.850.000,00
Acir Gurcaz	R\$ 1.866.656,00	Paulo Bauer	R\$ 1.360.000,00	PC DO B	R\$ 2.195.538,00
Carlos Braga	R\$ 1.780.000,00	Alvaro Dias	R\$ 1.200.000,00	PCB	R\$ 2.100.000,00
DEM	R\$ 1.600.000,00	PDT	R\$ 816.000,00	José Wellington	R\$ 1.615.000,00
Jader Barbalho	R\$ 1.200.000,00	PSD	R\$ 576.000,00	PR	R\$ 1.542.200,00

A análise descrita até aqui permitiu responder a duas das perguntas formuladas neste estudo: (i) quais são as empresas que mais doam e como distribuem suas doações e (ii) qual é o papel dos partidos e das suas lideranças na distribuição das doações. A terceira pergunta - qual o grau de poder que cada empresa possui sobre cada partido e senador -

será respondida avaliando cada aresta ligada aos 81 senadores, formando uma matriz que pode ser considerada um mapa de intenções do Senado Brasileiro. Por limitações de espaço deste artigo apresentaremos essa matriz apenas para alguns relacionamentos entre empresas-partidos e empresas-senadores.

Na Tabela 4 podemos ver que a empresa JBS S.A. possui poder (métrica positiva) sobre quase todos os partidos, com exceção do PSDB e PMDB, com uma diferença significativa em relação às outras duas empresas apresentadas.

Tabela 4. Empresas e seu poder em relação aos maiores partidos do Senado

Empresa	PSDB	PMDB	PT	PSD	PSB	PP	PR	DEM	PTB	PDT
JBS S.A.	-0,032	-0,082	0,001	0,131	0,020	0,188	0,142	0,001	0,062	0,146
Const. Andrade Gutierrez S.A.	-0,354	-0,401	-0,069	-0,003	-0,001	-0,001	0,001	0,018	0,034	sem aresta
Amil Assis. Méd. Internac. S.A.	-0,180	-0,399	-0,053	-0,021	-0,014	-0,024	-0,045	-0,015	-0,006	sem aresta

As Tabelas 5, 6 e 7 mostram o perfil de alguns senadores em relação aos seus maiores doadores. Analisando os dados é possível perceber que Renan Calheiros é fortemente vinculado ao seu partido, que exerce alto poder sobre o senador, praticamente sem nenhuma disputa com empresas externas. Já no caso de Lindbergh Farias, apesar do partido ser a força mais potente, vemos empresas atuando com poder positivo sobre o senador. Em contraste, o senador Blairo Maggi não possui nenhum ator que possua ascendência sobre ele nos termos da nossa análise. Detendo um volume enorme de recursos, o senador é empoderado em relação a todos os atores, inclusive o seu partido. Isto pode ser visto pelos valores negativos da métrica, que indicam que o lado que recebe o recurso é mais forte que o lado que distribui.

Tabela 5. Perfil de poder de Renan Calheiros e seus maiores doadores

Doador	poder
PMDB	0,879
Franere Com. Const. e Imobiliária Ltda.	-0,96
SOTAN - Sociedade de Táxi Aéreo do Nordeste Ltda.	-0,99

Tabela 6. Perfil de poder de Lindbergh Farias e seus maiores doadores

Doador	poder
PT	0,455
Camargo Correa S.A.	0,025
UTC Engenharia S.A.	0,024

Tabela 7. Perfil de poder de Blairo Maggi e seus maiores doadores

Doador	poder
Recursos próprios	-0,827
Construtora Sanches Tripoloni Ltda.	-0,886
Amaggi Exportação e Importação Ltda.	-0,908

É possível avaliar ainda o poder que os partidos exercem uns sobre os outros, uma vez que identificamos que grandes partidos agem neste sentido. A Tabela 8 mostra como os principais partidos atuam sobre os demais. A disputa de poder é bastante evidente pelos valores praticamente em equilíbrio da métrica, com alguns destaques: PSDB, PMDB e PT distribuem recursos principalmente para partidos cujo alinhamento não é claro, como PR, PTB e PDT. Partidos com uma posição mais alinhada com determinado ator não recebem recursos de seus adversários. É o caso do DEM e Solidariedade, que não recebem recursos do PT, assim como o PC do B, que não recebe recursos do PSDB e PMDB.

Tabela 8. Partidos e seu poder em relação a outros partidos

Partido	PP	PR	DEM	SD	PROS	PTB	PDT	PC do B
PSDB	-0,0023	-0,0062	-0,0014	-0,0002	-0,0002	-0,0013	-0,0024	sem aresta
PMDB	sem aresta	-0,0033	-0,0076	-0,0014	-0,0047	-0,0005	0,0024	sem aresta
PT	sem aresta	-0,0164	sem aresta	sem aresta	sem aresta	-0,0002	0,0013	0,0292
PSD	sem aresta	sem aresta	sem aresta	sem aresta	sem aresta	-0,1634	sem aresta	-0,0985
PSB	-0,0232	sem aresta	sem aresta	-0,0214	-0,0013	sem aresta	sem aresta	-0,0369

6. Conclusões e Trabalhos Futuros

Para avaliar as métricas propostas este estudo criou e analisou a rede de poder do Senado Federal em relação às empresas que doaram recursos para as campanhas de 2010 e 2014. Buscou-se avaliar quanto poder as empresas têm sobre partidos e senadores, através da visão de reciprocidade desta relação. A análise revelou alguns dados interessantes: nem sempre o maior valor doado corresponde a um maior poder sobre o partido ou senador; os grandes partidos têm muito poder sobre os partidos menores, intermediando a relação entre os mesmos e as empresas; alguns senadores se destacam de seus partidos; grandes empresas doadoras tendem a concentrar as doações em partidos e não em comitês individuais de senadores.

É importante frisar que a métrica poder (*power*) é um atributo da relação entre os nós e não dos nós em si. Uma limitação deste trabalho é que o cálculo não leva em conta o número de parceiros, apenas o volume de recursos. Um refinamento na fórmula de modo a considerar o número de opções de troca seria consistente com a base teórica utilizada. Outro ponto é que sua verificação foi feita em uma rede social específica e uma avaliação mais genérica certamente se faz necessária. A verificação da relação entre a métrica *power* e as métricas de *hub* e *authority* dos nós ligados pode trazer vínculos entre a micro-estrutura da rede e a relação de poder, bem como a revisão de outras métricas frequentemente usadas para análise de influência.

Do ponto de vista dos dados eleitorais, esta análise pode ser expandida para os políticos em todas as esferas, incluindo as eleições municipais. Um exercício interessante pode ser verificar hipoteticamente como a exclusão de um nó importante afetaria as relações de poder da rede. Por fim, um importante passo é a criação de um método simples e público de visualização desta rede de poder de maneira que o cidadão esteja ciente dos interesses que motivam cada um de seus representantes.

Referências

Anttiroiko, A. (2015). Castells' network concept and its connections to social, economic and political network analyses. *Journal of Social Structure*, 16(11):1–18.

- Boas, T. C., Hidalgo, F. D., and Richardson, N. P. (2014). The spoils of victory: campaign donations and government contracts in brazil. *The Journal of Politics*, 76(02):415–429.
- Castells, M. (1996a). *The network society*. Backwell, Oxford.
- Castells, M. (1996b). *The Rise of the Network Society. The information age: Economy, society, and culture*. Backwell, Oxford.
- Castells, M. (2011). Network theory— a network theory of power. *International Journal of Communication*, 5:15.
- Easley, D. and Kleinberg, J. (2010). *Networks, crowds, and markets: Reasoning about a highly connected world*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Emerson, R. M. (1976). Social exchange theory. *Annual review of sociology*, 2(1):335–362.
- French, J. R., Raven, B., and Cartwright, D. (1959). The bases of social power. In *Studies in social power*, volume 7. Institute for Social Research, The University of Michigan.
- Hindess, B. (1996). *Discourses of power from Hobbes to Foucault*. Backwell, Oxford.
- MacLuhan, M., Fiore, Q., and Agel, J. (1967). *The medium is the message*. Random House, New York.
- Mancuso, W. P., Figueiredo Filho, D. B., Speck, B. W., Silva, L. E. O., and Rocha, E. C. d. (2016). Corporate dependence in brazil’s 2010 elections for federal deputy. *Brazilian Political Science Review*, 10(3).
- Marx, K. and Engels, F. (1968). *Karl Marx and Frederick Engels: selected works in one volume*, volume 184. International Publishers, New York.
- Tribunal Superior Eleitoral (2016). Repositório de dados eleitorais. Disponível em <http://divulgacandcontas.tse.jus.br>. Acessado em 01 novembro de 2016.
- Willer, D. (1999). *Network exchange theory*. Greenwood Publishing Group.

Uma Abordagem para Detecção de Tópicos Relevantes em Redes Sociais Online

Bruno Á. Souza¹, Thais G. Almeida¹, Alice A. Menezes¹,
Carlos M. S. Figueiredo², Fabíola G. Nakamura¹, Eduardo F. Nakamura¹

¹Universidade Federal do Amazonas (UFAM) – Manaus, AM – Brasil

²Universidade do Estado do Amazonas (UEA) – Manaus, AM – Brasil

{bruno.abia,tga,alice.menezes,fabiola,nakamura}@icomp.ufam.edu.br

cfigueiredo@uea.edu.br

Abstract. *The popularization of social networks has contributed to increase the amount of information shared daily, making these networks a source of information about diversified events. However, this information is difficult to understand, since there is a contextual diversity about these events and the high cost of processing to eliminate noises, make the process of recognition of relevant information challenging. In this context, this work propose an approach to characterize relevant information to events, through the extraction of topics in shared data on Twitter, where we used as a study scenario the phases of Lava Jato operation in 2016. In this way, we evaluated three machine learning methods (K-means, LDA and NMF) and compared pre-processing techniques for cleaning texts in order to observe if there is an improvement in algorithms performance. In addition, we use the Silhouette technique to find the best value of clusters, eliminating the need to rank relevant topics. In our results we demonstrated that our approach is able to monitor social networks to characterize events when we use NMF combined with named entity recognition.*

Resumo. *A popularização das redes sociais tem contribuído para o aumento da quantidade de informações compartilhadas diariamente, tornando estas redes uma fonte de informação sobre eventos diversos. Porém essas informações são de difícil compreensão, uma vez que há uma diversidade contextual sobre esses eventos e o custo de processar uma elevada massa de dados, tornam desafiador o processo de reconhecimento de informações relevantes. Neste contexto, este trabalho propõe uma abordagem para caracterização de informações relevantes de eventos, através da extração de tópicos em dados compartilhados no Twitter, onde utilizamos como cenário de estudo as fases da operação Lava Jato em 2016. Deste modo, avaliamos o desempenho de três métodos de aprendizagem de máquina (K-means, LDA e NMF) e comparamos técnicas de pré-processamento para limpeza dos textos com o intuito de observar se há melhora no desempenho dos algoritmos. Além disso, utilizamos a técnica Silhouette para estimar um valor de cluster sobre uma determinada amostra de dados, eliminando a necessidade de classificar quais tópicos são relevantes. Em nossos resultados demonstramos que nossa abordagem é capaz de monitorar redes sociais com o intuito de caracterizar eventos quando utilizamos o NMF combinado com reconhecimento de entidade nomeada.*

1. Introdução

Uma rede social é composta por conjuntos de pessoas ou grupos com algum padrão de contato ou interação entre si [Atefeh and Khreich, 2013]. Uma forma de instanciar o conceito de redes sociais para a interação entre usuários a partir de uma ferramenta online é a Rede Social Online (RSO). Os usuários das RSOs costumam compartilhar informações relacionadas ao contexto no qual estão inseridos, como por exemplo, informações de trânsito, negócios, relatos pessoais e acontecimentos diários [Ramos et al., 2016]. Isso possibilita que as RSOs funcionem como sensores para identificação de dados do mundo real, devido à quantidade de informações que são produzidas diariamente e diversidade dos dados, como: localização, horário, fotos e vídeos [Sakaki et al., 2010].

Um exemplo de Rede Social Online que disponibiliza informações compartilhadas de usuários é o Twitter¹. Segundo um levantamento feito em 2016, o Twitter contabilizou aproximadamente 313 milhões de usuários que produziram mais de 400 milhões de *tweets* por dia². O Twitter permite que os usuários façam atualizações (*tweets*) com até 140 caracteres, onde o intuito é compartilhar informações curtas e de rápida leitura. Com isso, é possível monitorar essa rede social para descobrir eventos de grande escala, onde esses acontecimentos dentro do ambiente de RSO são considerados como assuntos importantes e com grande repercussão, que servem para caracterizar fenômenos sociais (seja na esfera econômica, cultural ou política), como por exemplo, ações sobre o *impeachment* no Brasil [Souza et al., 2016] e os terremotos no Japão [Sakaki et al., 2010].

Outra aplicação em descoberta de eventos nas redes sociais, é a possibilidade de se monitorar um determinado acontecimento como, por exemplo, as fases da Operação Lava Jato da Polícia Federal, e descobrir quais são os tópicos mais relevantes de um determinado dia ou período, a fim de quantificar as pessoas envolvidas e os impactos gerados. Neste contexto, este trabalho tem como objetivo comparar técnicas não-supervisionadas de aprendizagem de máquina na tarefa de detecção de tópicos em Redes Sociais Online, com o intuito de propor uma abordagem que permita extrair informações e demonstrar a viabilidade de se utilizar o Twitter para descobrir relatos relevantes de um evento.

Partindo do cenário discutido, as principais contribuições deste artigo são: (a) avaliação de técnicas de aprendizagem de máquina (*K-means*, *Non-negative Matrix Factorization* e *Latent Dirichlet Allocation*) na tarefa de extração de tópicos em textos em português; (b) análise de duas abordagens de pré-processamento para textos, buscando eliminar ruídos existentes nos dados; (c) estudo de caso considerando os *tweets* compartilhados sobre as fases da Operação Lava Jato; e (d) a utilização da técnica de *Silhouette* para estimar a quantidade de agrupamentos em uma amostra de dados, a fim de obter um valor de *cluster* que melhor represente esse conjunto, pois como a maioria dos trabalhos estima altos valores para a extração, este processo acaba se tornando lento e custoso.

O restante deste trabalho está dividido da seguinte forma: na Seção 2 são apresentados os trabalhos relacionados à extração de tópicos em redes sociais; na Seção 3 é descrita a metodologia utilizada na condução deste trabalho; na Seção 4 são apresentados os experimentos e os resultados obtidos. Por fim, a Seção 5 apresenta a conclusão e trabalhos futuros.

¹<https://www.twitter.com>

²<https://www.statista.com/statistics/272014/global-social-networks-ranked-by-number-of-users/>

2. Trabalhos Relacionados

Os estudos sobre o problema de detecção de eventos tiveram início em 1998, sendo tratado como um problema de descoberta de tópicos, onde o objetivo é o agrupamento de informações de maneira contextualizada [Allan et al., 1998]. Portanto, dado um conjunto A de textos, existe uma quantidade B de contextos (temas) associados a estes textos. Neste caso, B é menor ou igual a A , visto que mais de um texto pode discorrer sobre o mesmo tema.

Em redes sociais, a detecção de tópicos enfrenta desafios adicionais, tais como: (i) o processamento da quantidade de informações geradas; e (ii) os ruídos existentes, visto que nem todas as informações compartilhadas sobre um determinado tema são relevantes. Buscando solucionar estes desafios, diversos trabalhos que propõem abordagens de seleção de tópicos relevantes por palavras-chave têm surgido [Zhao et al., 2011; Diao et al., 2012; Cataldi et al., 2010; Suh et al., 2016; Katragadda et al., 2016].

Esses métodos utilizam palavras-chave para criar um agrupamento de termos e realizam a detecção de tópicos usando modelos probabilísticos, como por exemplo, o *Latent Dirichlet Allocation* (LDA), que é utilizado no trabalho de Bolelli et al. [2009] como forma de identificar tópicos relevantes. Diao et al. [2012] aplicam o LDA para identificar tópicos de acontecimentos passados em dados do Twitter. Os autores assumem que os tópicos são constituídos de palavras-chave de múltiplos *tweets*, onde o principal objetivo de sua abordagem consiste em, simultaneamente, capturar duas observações: (1) *tweets* publicados que tenham o mesmo tópico; e (2) *tweets* publicados por um mesmo usuário referentes ao mesmo tópico. Com isso, os autores demonstram uma abordagem diferente dos trabalhos que se limitam a apenas reconhecer a informação.

No trabalho de Xu et al. [2003], os autores apresentam uma adaptação do *Non-negative Matrix Factorization* (NMF) para demonstrar a eficiência do método em extrair tópicos. O estudo mostrou que em comparação aos métodos LSI e SC, a adaptação realizada no NMF para extrair tópicos apresenta um rendimento superior de 1.16% em relação aos demais. No trabalho de Suh et al. [2016], os autores capturaram tópicos locais de sua região, a fim de detectar informações relevantes. Os autores compararam o NMF com suas variantes e o LDA. Desta forma, concluíram que o modelo utilizando o NMF superava os demais, tanto na captura de tópicos relevantes, como também na velocidade de processamento, tornando o método viável para captura de tópicos em tempo real e em larga-escala.

A partir dos desafios citados anteriormente e das técnicas utilizadas para detecção de informações relevantes, nossa abordagem foca em analisar uma amostra de dados e poder definir qual a quantidade de *clusters* que melhor a representam, a fim de reduzir a quantidade de interações que os métodos executam para extrair tópicos. Outro fator que pode ser destacado, é a aplicação de uma arquitetura de pré-processamento e extração de tópicos que seja capaz de manipular a larga quantidade de dados capturados sobre um determinado evento, a fim de caracterizar os relatos mais significativos. Além disso, aplicamos as técnicas de extração de tópicos baseadas nos trabalhos anteriores com o intuito de validar a abordagem feita neste trabalho.

3. Método Proposto

O método proposto na elaboração deste trabalho consiste das seguintes etapas (ilustradas na Figura 1): (i) coleta de dados provenientes do Twitter para construção da base de dados; (ii) pré-processamento dos dados, a fim de retirar possíveis ruídos dos *tweets*; e (iii) seleção da melhor quantidade e extração de tópicos utilizando a técnica de *Silhouette* combinada com os métodos de aprendizagem de máquina. Nas subseções que seguem, detalhamos cada uma destas etapas.



Figura 1. Arquitetura do método proposto.

3.1. Base de Dados

A base de dados utilizada neste trabalho é composta por *tweets* escritos em português, pertencentes ao período de 01/01/2016 a 20/11/2016. Os *tweets* da nossa base de dados são relativos a Operação Lava Jato, deflagrada em 2014 pela Polícia Federal do Brasil, cujo objetivo é investigar a prática de crimes financeiros e desvio de recursos públicos. Neste artigo, consideramos somente as fases deflagradas no ano de 2016 que correspondem às fases da 22^a à 36^a.

A fim de coletar *tweets* sobre a Operação Lava Jato, utilizamos a Search API da rede social Twitter³, que permite a coleta de dados históricos. Para filtrar *tweets* relativos a determinados assuntos, a Search API utiliza uma *query* de busca, que é equivalente a uma expressão booleana envolvendo termos. No trabalho proposto, a *query* de busca especificada foi “lava jato”, e resultou em uma base com um total de 652.210 *tweets*. A Figura 2 mostra a distribuição de *tweets* por mês.

3.2. Pré-processamento

Após a etapa de coleta dos dados, os *tweets* foram pré-processados para remoção de possíveis ruídos e redução do número de atributos dos vetores de características dos métodos não-supervisionados, detalhados na próxima subseção. Para tanto, utilizamos o *framework* Apache Spark⁴ que facilita a manipulação de dados em larga escala (*Big Data*). O *framework* Apache Spark baseia-se em duas das principais abstrações de programação paralela [M. Zaharia and Stoica, 2010]: *Resilient Distributed Datasets* (uma coleção de objetos particionados entre um conjunto de máquinas que podem ser reconstituídos caso uma partição seja perdida) e operações paralelas (e.g., *reduce*, *collect*, *foreach*).

³<https://www.twitter.com>

⁴<http://spark.apache.org/>

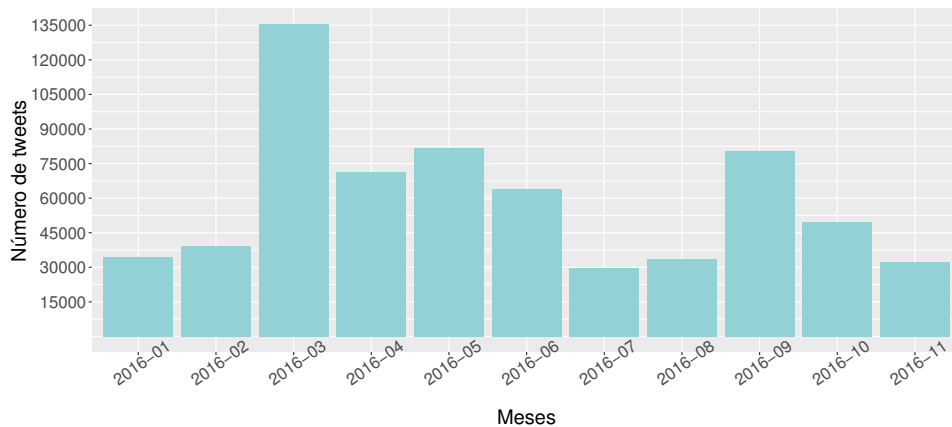


Figura 2. Distribuição de tweets por mês.

Neste trabalho, realizamos dois pré-processamentos distintos: tradicional e com reconhecimento de entidade. O pré-processamento tradicional (figura 3), consiste em separar os *tweets* em *tokens* (segmentos de sentenças), para logo em seguida, remover as menções, URLs e *emoticons* de cada um deles. Posteriormente, os *tokens* são normalizados, isto é, são submetidos a transformações (e.g., tratamento de pontuação, limpeza de caracteres especiais), correções (e.g., ortográficas) e expansão de contrações [Stiilpen Junior and Merschmann, 2016]. Após a normalização, os *tokens* que forem *stopwords* são descartados e, por fim, os afixos dos *tokens* restantes são eliminados (*stemming*).

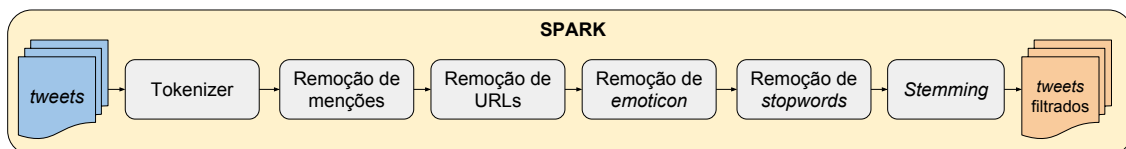


Figura 3. Pré-processamento tradicional.

O pré-processamento com reconhecimento de entidade (Figura 4), por sua vez, consiste em primeiramente remover as menções e as URLs dos *tweets*. Em seguida, as entidades (substantivos próprios) presentes nos *tweets* são extraídas por meio do algoritmo *Polyglot-Ner* [Al-Rfou et al., 2015]. Tal algoritmo modela a tarefa de reconhecimento de entidades como um problema de classificação a nível de palavra. O objetivo destes dois pré-processamentos é verificar se há melhora na eficiência dos métodos ao extrair tópicos, pois as matrizes de termos em cada pré-processamento possuem diferentes características.

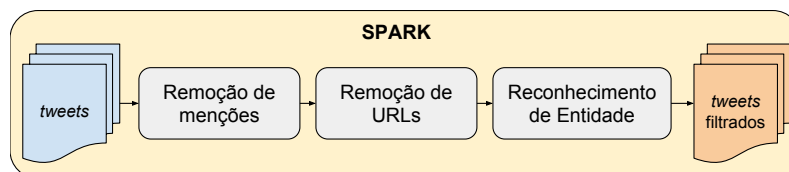


Figura 4. Pré-processamento com reconhecimento de entidade.

Após a aplicação do pré-processamento sobre a base de dados, o vetor de características de cada um dos métodos não-supervisionados é modelado como uma *bag*-

of-words, em que cada *tweet* t é representado por um vetor p_1, p_2, \dots, p_n , onde p_i é a frequência ponderada da palavra i no *tweet* t normalizada pela frequência da palavra i na base de dados. Tal modelagem de vetor de característica é análoga a proposta por Aisopos et al. [2012]. Entretanto, em nossa modelagem, caso a frequência ponderada de uma palavra i no *tweet* t seja menor que vinte, tal palavra é eliminada da *bag-of-words*. Isto permite a redução da dimensão do vetor de características dos métodos de aprendizagem de máquina e reduz a quantidade de termos com baixa frequência. Esse valor foi selecionado, após observarmos que durante os experimentos esses termos não tinham representatividade dentro da matriz de termos.

3.3. Extração de Tópicos

Neste trabalho utilizamos os seguintes métodos de aprendizagem de máquina não-supervisionada para extrair tópicos da base de dados: *Latent Dirichlet Allocation*, *K-means* e *Non-negative Matrix Factorization*. Para cada um dos métodos, consideramos a quantidade de *clusters* recomendados pela técnica de *Silhouette*⁵, que baseada numa amostra de dados, permite que observemos através de uma representação gráfica qual seria o melhor valor de k para esse conjunto. Essa técnica permite a validação da consistência dos dados dentro de um agrupamento, onde em sua definição é assumido que os dados são agrupados por uma técnica que tenha como parâmetro de entrada um número K de *clusters*. Matematicamente, o *Silhouette* pode ser representado pela Equação 1:

$$s(i) = \begin{cases} 1 - a(i)/b(i), & \text{Se } a(i) < b(i) \\ 0, & \text{Se } a(i) = b(i) \\ b(i)/a(i) - 1, & \text{Se } a(i) > b(i) \end{cases} \quad (1)$$

onde $a(i)$ é uma representação de quão bem um dado i é atribuído a um *cluster*, e $b(i)$ a menor média de não similaridade de i em relação a qualquer outro *cluster* que o dado não seja membro. Com isso, podemos obter valores de $[-1, 1]$. Esses coeficientes quando estão perto de $+1$ indicam que a amostra está longe dos *clusters* vizinhos. Um valor 0 indica que a amostra está perto do limite de decisão entre dois *cluster* vizinhos e valores negativos indicam que essas amostras podem ter sido atribuídas ao *cluster* errado (conforme ilustrado na Figura 5).

Esses valores obtidos através da técnica de *Silhouette* são utilizados como parâmetros de entrada para os algoritmos de extração de tópicos, ou seja, cada número inteiro obtido corresponde a quantidade de tópicos da amostra em análise. Vale ressaltar, que essa técnica foi aplicada a cada algoritmo, levando em consideração que os mesmos possuem estratégias diferentes para alcançar o mesmo resultado.

O *Latent Dirichlet Allocation (LDA)* consiste em um modelo probabilístico, no qual cada documento é modelado como uma combinação de tópicos e onde cada tópico corresponde a uma distribuição multinomial sobre as palavras [Bolelli et al., 2009]. A distribuição documento-tópico e tópico-palavra aprendidas pelo LDA, por meio de inferência Bayesiana, descrevem os melhores tópicos por documento e as palavras mais descritivas para cada tópico. Em nossa abordagem seguimos a estratégia adotada por Zhao et al. [2011], onde assumimos que um tópico T também está atrelado a um usuário

⁵http://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.metrics.silhouette_score.html

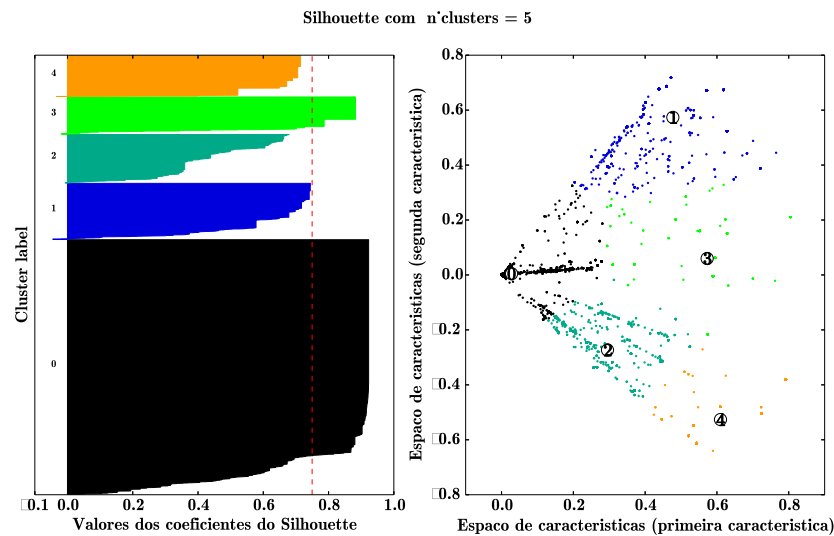


Figura 5. Exemplo do gráfico de *Silhouette* para seleção de valores de k com $k = 5$.

e não unicamente a uma distribuição de palavras, pois conforme observado, o modelo tradicional do LDA apresenta baixo rendimento em textos curtos [Zhao et al., 2011].

O *K-means*. Seja $X = x_1, x_2, \dots, x_d$ o conjunto de pontos d -dimensionais a serem agrupados em um conjunto de K clusters, $C = c_k, k = 1, \dots, K$. O *K-means* encontra uma partição de tal forma que o erro quadrático entre a média empírica de um cluster e os pontos no cluster sejam minimizados.

O *Non-negative Matrix Factorization (NMF)*. O NMF consiste em um algoritmo de fatorização de matrizes que encontra a fatorização positiva de uma matriz positiva recebida como entrada [Xu et al., 2003]. Seja S o conjunto de documentos representados por uma matriz V de dimensão $m \times d$, onde m é o número de termos distintos e d é equivalente ao número de documentos em S . O NMF encontra a menor aproximação de V em termos de alguma métrica específica (e.g., norma) fatorando V no produto (WH) de duas matrizes de menor dimensões $W_{m \times k}$ e $H_{k \times n}$, onde k é o número de tópicos. Cada coluna de W é um vetor base que contém uma codificação semântica ou um conceito de V e cada coluna de H contém uma codificação da combinação linear dos vetores bases que aproxima a correspondente coluna de V [Shahnaz et al., 2006].

4. Experimentos e Resultados

Durante esta fase conduzimos os nossos experimentos em dois cenários, onde o primeiro cenário consiste em demonstrar a utilização das técnicas de extração de tópicos, tendo como entrada uma matriz de termos que foi processada com uma arquitetura tradicional (Figura 3). O segundo cenário descreve a utilização de pré-processamento através do reconhecimento de entidades (Figura 4), onde a matriz de termos gerada, consiste unicamente de termos reconhecidos como entidades em cada *tweet*.

Para validarmos nossa arquitetura de extração de tópicos, ilustrada na Figura 1, realizamos uma comparação dos tópicos extraídos por cada algoritmo com canais de notícias, e verificamos se as informações compartilhadas nas redes sociais sobre

a Operação Lava Jato em um determinado mês, são equivalentes a outras fontes de informação. Essa comparação gera um percentual de acerto para cada algoritmo, onde dividimos o total tópicos extraídos pelos algoritmos que correspondiam as notícias compartilhadas, pelo total de informações (notícias) divulgadas nos meios de comunicação tradicionais ($P = \frac{\text{tópicos_relacionados}}{\text{Noticias}}$). O objetivo desta abordagem é comprovar que monitorando o Twitter, conseguimos descobrir informações relevantes sobre um determinado acontecimento.

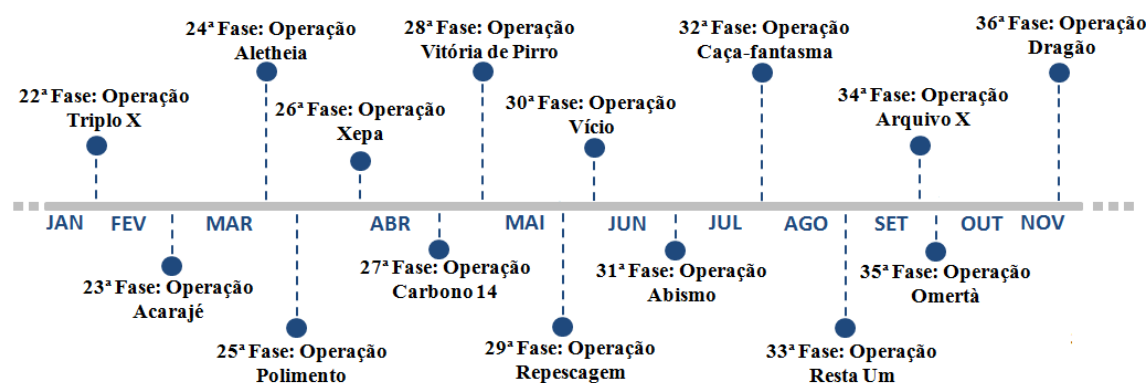


Figura 6. Linha do tempo das fases da Operação Lava Jato em 2016.

Durante os experimentos aplicamos os algoritmos de extração de tópicos aos conjuntos de dados de cada mês, pois conforme observado na Figura 6, a Operação Lava Jato da Polícia Federal, de janeiro a novembro teve fases relatadas nas redes sociais mensalmente, atingindo um total de 15 operações. Vale ressaltar que levamos em consideração todos os relatos compartilhados sobre esses eventos, desde prisões de pessoas envolvidas à ações judiciais executadas pelos órgãos responsáveis.

Meses	pré-processamento tradicional			pré-processamento com reconhecimento de Entidade		
	LDA	NMF	K-means	LDA	NMF	K-means
Jan	5	5	5	4	4	7
Fev	4	4	5	5	5	7
Mar	5	5	9	5	5	8
Abr	5	5	7	5	5	7
Mai	5	5	6	5	5	6
Jun	7	7	6	6	6	6
Jul	4	4	5	5	5	5
Ago	5	5	6	3	3	5
Set	5	5	5	5	5	5
Out	7	7	8	8	8	6
Nov	5	5	7	4	4	6

Tabela 1. Valores de K observados na técnica de *Silhouette*.

Em ambos os cenários, executamos a técnica de *Silhouette* para obter a melhor quantidade de tópicos para cada amostra de dados (cada mês), conforme observado na Tabela 1, ou seja, a cada amostra de dados executamos a variação de *clusters* de 2 até 15 para realizar a verificação.

4.1. Cenário I

Neste cenário, para uma melhor compreensão de como as avaliações foram realizadas, selecionamos o mês de setembro que teve maior divergência entre os tópicos extraídos em relação as informações compartilhadas em outros canais, onde ocorreram a 34ª e a 35ª fase da Operação Lava Jato com uma amostra de 80.577 *tweets*.

Neste período, os acontecimentos de maior impacto segundo as fontes de informação (Paraná Portal ⁶, O Globo ⁷, Estadão⁸ e site da Polícia Federal⁹) que mais detalhavam os acontecimentos da Operação Lava Jato foram:

1. O ex-ministro Guido Mantega é preso temporariamente, mas o juiz Sérgio Moro manda soltá-lo horas depois.
2. O empresário Eike Batista declarou que, em 1º de novembro de 2012, recebeu pedido de “um então ministro e então presidente do Conselho de Administração da Petrobrás” para que fizesse um pagamento de R\$ 5 milhões destinado ao PT ¹⁰.
3. Supremo Tribunal Federal manda ação contra Eduardo Cunha para Sérgio Moro.
4. O ex-ministro da Fazenda Antônio Palocci é preso na 35ª operação, por atuar de maneira direta para proporcionar vantagens à empreiteira Odebrecht.
5. Gleisi Hoffmann e Paulo Bernardo virão réus da Operação Lava Jato no Supremo Tribunal Federal.

Neste contexto, ao aplicarmos o pré-processamento apresentado na Figura 3 com os algoritmos de aprendizagem de máquina, observamos se os tópicos extraídos tinham alguma menção as notícias compartilhadas nos canais de informação. Durante esta avaliação, observamos que os tópicos extraídos pelo NMF, conforme apresentado na Tabela 2, foram os que mais se aproximaram das notícias compartilhadas por outras fontes de informação (conforme ilustrado na Figura 7(a)).

Tópicos LDA	Tópicos NMF	Tópicos Kmeans
Marisa Lula operação	diz Lula operação	youtube video gostei
Guido prisão horas	fase Mantega operação	lula denuncia reu
video youtube gostei	justiça temer ministro	Bernardo Gleise réu
abafar operação Moro	Lula Moro réu	Lula operação diz
lula denuncia denunciado	youtube gostei video	preso Mantega nova

Tabela 2. Tópicos extraídos pelos algoritmos.

Observamos durante os experimentos com esta abordagem que a base de dados possui outras informações que não estavam no contexto direto da Lava Jato. Essas informações, que possuem maiores frequências dentro de uma *bag-of-words* acabam em sua maioria se tornando um tópico coletado pelos algoritmos. Com isso, este cenário

⁶<http://paranaportal.uol.com.br/editoria/operacao-lava-jato/>

⁷<http://infograficos.oglobo.globo.com/brasil/todas-as-fases-da-operacao-lava-jato.html>

⁸<http://infograficos.estadao.com.br/public/politica/operacao-lava-jato/fases/>

⁹<http://www.pf.gov.br/imprensa/lava-jato/fases-da-operacao-lava-jato>

¹⁰<http://politica.estadao.com.br/blogs/fausto-macedo/eike-batista-relatou-a-procuradoria-pedido-de-r-5-milhoes-ao-pt/>

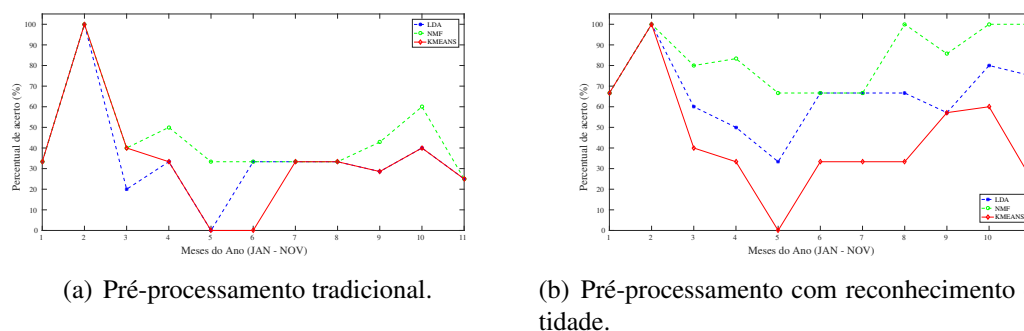


Figura 7. Resultado da validação de tópicos comparado com canais de notícias.

apesar de ter um pré-processamento robusto, não apresentou bom desempenho, conforme observado na Figura 7(a), tornando inviável a utilização deste padrão para o monitoramento das notícias relevantes de um acontecimento, devido a captura desses ruídos pelos algoritmos aplicados neste trabalho.

4.2. Cenário II

Neste cenário, para fins de avaliação, será apresentado o mesmo mês analisado no cenário 1. Aplicamos como pré-processamento o reconhecimento de entidade nomeada, onde para documento (*tweet*) pode existir uma ou mais entidades, conforme exemplo: “*Tribunais Superiores derrubam 18 erros de Sérgio Moro.*”, tendo como resultado o reconhecimento da entidade “Sérgio Moro”. Com isso, nossa *bag-of-words* pode ser considerada como uma *bag-of-entities*, visto que essa regra foi aplicada a toda base de dados, com o objetivo de reconhecer quais foram as entidades mais citadas em um determinado mês. Como as notícias ou relatos estão atreladas a uma determinada pessoa, grupos, empresas ou locais, a utilização dessa estratégia torna-se viável.

LDA	NMF	KMEANS
MPF STF Moro	Petrobras Mantega STF	Palocci Antonio PF
Palocci Eike Renan	Lula Marisa MPF	Lula PT Mantega
PT Cunha PSDB	Sergio Moro Bumlai	Moro Lula Sergio
Lula Marisa Temer	Palocci Antonio Dilma	Lula PT Curitiba
Sergio Dilma Curitiba	PT Paulo Gleise	Lula Marisa MPF

Tabela 3. Tópicos extraídos pelos algoritmos com reconhecimento de entidade.

Durante esse pré-processamento, eliminamos entidades com frequências menores que 20, com o intuito de igualar os parâmetros de acordo com o primeiro cenário. Como resultado, observamos que o NMF apresentou um melhor desempenho (Figura 7(b)) na extração de tópicos, quando comparado com os canais de notícias, pois além de eliminar os ruídos da base dados, também reconheceu os indivíduos chaves de cada notícia (Tabela 3).

Com isso, resumizamos nossos resultados da seguinte forma:

1. O pré-processamento tradicional aplicado a nossa arquitetura, apresentou um baixo rendimento na tarefa de extração de tópicos para o monitoramento de notícias sobre a Operação Lava Jato da Polícia Federal do Brasil;

2. O pré-processamento com reconhecimento de entidade nomeada aplicado a nossa arquitetura, apresentou rendimento superior a 70% em todos os meses com o algoritmo NMF, comprovando a viabilidade de utilizar este modelo para monitorar o Twitter, com o objetivo de identificar as informações relevantes de um determinado acontecimento, pois observar um evento monitorando diretamente as pessoas envolvidas se mostrou mais aplicável;
3. Apesar dos resultados alcançados na abordagem com pré-processamento de reconhecimento de entidade serem mais representativos que a outra abordagem, o mesmo consome mais recursos computacionais para a execução da extração de tópicos, onde identificamos que o ponto de maior consumo é a classificação da entidade feita pelo algoritmo *PolyGlot-Ner*;

5. Conclusão e Trabalhos Futuros

Neste trabalho, foram analisadas técnicas não-supervisionadas de aprendizagem de máquina, a fim de descobrir tópicos relevantes em dados compartilhados em redes sociais. Apesar de avanços em técnicas de detecção de eventos em *streaming*, observamos que uma aprendizagem *offline*, quando combinada com ferramentas que aceleram o processo de manipulação dos dados pode alcançar resultados no mesmo nível de outras técnicas. Com isso, comparamos dois modelos para extração de tópicos, combinando com os algoritmos de LDA, NMF e *K-means*, na tarefa de monitorarmos um determinado evento para descobrir quais foram as informações relevantes daquele mês. Além disso, reduzimos a quantidade de informações extraídas utilizando a técnica de *Silhouette*, a fim de verificar a melhor quantidade de *cluster* para uma determinada amostra de dados.

Esses modelos, foram avaliados em uma base de dados de *tweets* que relatavam informações sobre a Operação Lava Jato da Polícia Federal no ano de 2016. Os resultados mostraram que a nossa arquitetura, utilizando reconhecimento de entidade nomeada como pré-processamento, combinado com o algoritmo de NMF, são os que apresentam melhor resultado neste cenário. Como trabalhos futuros, pretendemos replicar nossos experimentos, adequando nossa arquitetura ao cenário online, além utilizar outras técnicas de *cluster*, como por exemplo, o uso de redes neurais.

6. Referências

- Aisopos, F., Papadakis, G., Tserpes, K., and Varvarigou, T. (2012). Content vs. context for sentiment analysis: a comparative analysis over microblogs. In *Proceedings of the 23rd ACM Conference on Hypertext and Social Media*, pages 187–196. ACM.
- Al-Rfou, R., Kulkarni, V., Perozzi, B., and Skiena, S. (2015). Polyglot-ner: Massive multilingual named entity recognition. In *Proceedings of the 2015 SIAM International Conference on Data Mining, Vancouver, British Columbia, Canada*. SIAM.
- Allan, J., Carbonell, J. G., Doddington, G., Yamron, J., and Yang, Y. (1998). Topic detection and tracking pilot study final report.
- Atefeh, F. and Khreich, W. (2013). A survey of techniques for event detection in twitter. *Computational Intelligence*.
- Bolelli, L., Ertekin, Ş., and Giles, C. L. (2009). Topic and trend detection in text collections using latent dirichlet allocation. In *Proceedings of the European Conference on Information Retrieval*, pages 776–780. Springer.

- Cataldi, M., Di Caro, L., and Schifanella, C. (2010). Emerging topic detection on twitter based on temporal and social terms evaluation. In *Proceedings of the Tenth International Workshop on Multimedia Data Mining*, page 4. ACM.
- Diao, Q., Jiang, J., Zhu, F., and Lim, E.-P. (2012). Finding bursty topics from microblogs. In *Proceedings of the 50th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics: Long Papers-Volume 1*, pages 536–544. Association for Computational Linguistics.
- Katragadda, S., Virani, S., Benton, R., and Raghavan, V. (2016). Detection of event onset using twitter. In *Proceedings of 2016 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)*, pages 1539–1546. IEEE.
- M. Zaharia, M. Chowdhury, M. J. F. S. S. and Stoica, I. (2010). Spark: cluster computing with working sets. In *Proceedings of the 2nd USENIX Conference on Hot Topics in Cloud Computing*.
- Ramos, P., Reis, J., and Benevenuto, F. (2016). Uma análise da polaridade expressa nas manchetes de notícias brasileiras.
- Sakaki, T., Okazaki, M., and Matsuo, Y. (2010). Earthquake shakes twitter users: real-time event detection by social sensors. In *Proceedings of the 19th international conference on World wide web*, pages 851–860. ACM.
- Shahnaz, F., Berry, M. W., Pauca, V. P., and Plemmons, R. J. (2006). Document clustering using nonnegative matrix factorization. In *Proceedings of the Information Processing & Management*, volume 42, pages 373–386. Elsevier.
- Souza, B. A., Almeida, T. G., Menezes, A. A., Nakamura, F. G., Figueiredo, C. M., and Nakamura, E. F. (2016). For or against?: Polarity analysis in tweets about impeachment process of brazil president. In *Proceedings of the 22Nd Brazilian Symposium on Multimedia and the Web, Webmedia '16*, pages 335–338, New York, NY, USA. ACM.
- Stiilpen Junior, M. and Merschmann, L. H. C. (2016). A methodology to handle social media posts in brazilian portuguese for text mining applications. In *Proceedings of the 22nd Brazilian Symposium on Multimedia and the Web*, pages 239–246. ACM.
- Suh, S., Choo, J., Lee, J., and Reddy, C. K. (2016). L-ensnmf: Boosted local topic discovery via ensemble of nonnegative matrix factorization.
- Xu, W., Liu, X., and Gong, Y. (2003). Document clustering based on non-negative matrix factorization. In *Proceedings of the 26th annual international ACM SIGIR conference on Research and development in informaion retrieval*, pages 267–273. ACM.
- Zhao, W. X., Jiang, J., Weng, J., He, J., Lim, E.-P., Yan, H., and Li, X. (2011). Comparing twitter and traditional media using topic models. In *European Conference on Information Retrieval*, pages 338–349. Springer.

Inferência de idade utilizando o LIWC: identificando potenciais predadores sexuais

Rafael Guimarães Rodrigues¹, Wladimir Wanderley Pereira¹,
Eduardo Bezerra¹, Gustavo Paiva Guedes¹

¹CEFET/RJ - Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca
Av. Maracanã, 229 - Rio de Janeiro - RJ - Brasil.

rafael.rodrigues@cefet-rj.br, wladimir.pereira@gmail.com,
{eduardo.silva, gustavo.guedes}@cefet-rj.br

Abstract. *Social predators use the Internet to exploit children or adolescents with abusive or sexual purposes. More and more these predators use social networks to access their victims, often providing fake profiles, pretending to be adolescents. In this scenario, this study aims to analyze texts in Brazilian Portuguese to infer the age of the users. For this purpose, we used a tool named LIWC in its Brazilian Portuguese version. As a case of study, a Brazilian social network was used to perform experiments. This study focused on the analysis of texts written by adolescents and men between 25 and 45 years old, which represent the great majority of sexual predators. Results were relevant and open lacks for further studies.*

Resumo. *Predadores sociais utilizam a internet para explorar crianças ou adolescentes com propósitos abusivos ou sexuais. Cada vez mais esses predadores utilizam as redes sociais para ter acesso as suas vítimas, muitas vezes fornecendo perfis falsos para se passarem por adolescentes. Nesse cenário, o presente trabalho tem o objetivo de analisar os textos em português do Brasil para inferir a idade dos usuários. Para esse propósito, foi utilizada uma ferramenta denominada LIWC em sua versão do português do Brasil. Como estudo de caso, foi utilizada uma rede social brasileira para realizar os experimentos. O referido estudo concentrou-se na análise de textos de adolescentes e homens entre 25 e 45 anos, que representam a grande maioria dos predadores sexuais. Os resultados alcançados foram relevantes e abrem lacunas para trabalhos futuros.*

1. Introdução

Predadores sexuais online são definidos como adultos que utilizam a internet para explorar crianças ou adolescentes com propósitos abusivos ou sexuais [Potha et al. 2016]. Estudos indicam que a maioria dos predadores sexuais (*i.e.*, 75%) é constituída por indivíduos do sexo masculino [Kipane, A. 2014], de cor branca e com idade entre 25 e 45 anos [Plasencia 2000]. O Brasil ocupou o quarto lugar no ranking mundial da pornografia infantil em 2003. Esse número alarmante envolve redes internacionais de crime organizado, que financiam o sequestro de crianças com o intuito de utilizá-las em filmagens obscenas [Felipe 2006].

Os predadores sexuais de crianças (*i.e.*, pedófilos) utilizam ambientes como salas de bate-papo e redes sociais para acessar vítimas potenciais [Jackson 2008].

Muitas vezes os pedófilos fornecem perfis falsos, se fazendo passar por crianças ou adolescentes, o que facilita o acesso às suas vítimas [Peersman et al. 2011]. Entretanto, diversos estudos apontam que a expressão de certas emoções nos textos pode auxiliar na detecção do perfil desses predadores [Bogdanova et al. 2012, Clarke 2011]. É importante destacar que esses indivíduos estão, cada vez mais, utilizando a internet (*e.g.*, salas de bate-papo, redes sociais) para atrair e explorar sexualmente crianças e adolescentes [Dowdell et al. 2011].

Com a grande expansão das redes sociais online, surgiram diversos estudos a respeito do comportamento humano [Jin et al. 2013]. Tais estudos envolvem fatores de interesse no mundo inteiro, como: comunicação, segurança, comércio e privacidade [Campos et al.]. Nesse cenário também é possível destacar a relevância de estudos sobre o comportamento de pedófilos [Bogdanova et al. 2012]. Esses indivíduos possuem características distintas (*e.g.*, idade, sexo, nível de escolaridade) que podem influenciar o estilo da escrita dos textos publicados nessas redes. A identificação dessas influências mostrou-se possível em diversos trabalhos encontrados na literatura, dentre os quais podemos citar [Barbieri 2008, Nagarajan and Hearst 2009].

Grande parte dos estudos supracitados utiliza como base uma ferramenta denominada LIWC (*Linguistic Inquiry and Word Count*) [Pennebaker et al. 2001]. Essa ferramenta possibilita a extração de padrões psicolinguísticos de textos, o que pode auxiliar na busca por predadores sexuais [Parapar et al. 2012]. Dado que esses predadores podem fornecer perfis falsos, o estudo proposto em [Peersman et al. 2011] identifica esses perfis em redes sociais inferindo a idade e o sexo dos usuários a partir de seus textos. A literatura apresenta uma diversidade de estudos que inferem a idade a partir de textos utilizando o LIWC [Schwartz et al. 2013, Marquardt et al. 2014], entretanto não foram encontrados trabalhos utilizando o LIWC em português do Brasil¹. Esse estudo se insere nesse panorama: inferir a idade dos usuários de redes sociais brasileiras utilizando o LIWC em português do Brasil, com o intuito de identificar potenciais predadores sexuais. Como objeto de estudo, foi utilizada a rede social online brasileira denominada *Meu Querido Diário*² (MQD). Essa rede social possui ampla quantidade de adolescentes³ e funciona como um diário online.

O restante desse trabalho está organizado da seguinte forma: Na Seção 2, são apresentados os trabalhos relacionados. Na Seção 3, o processo de extração das características das entradas do MQD é descrito. Na Seção 4, os resultados experimentais são analisados. Por fim, na Seção 5, há uma discussão sobre as conclusões e cenários futuros de expansão do referido trabalho.

2. Trabalhos Relacionados

O trabalho realizado em [Nguyen et al. 2011] analisa o conteúdo das entradas de um blog que permite ao autor anexar, a cada uma dessas entradas, uma dentre 132 etiquetas de humor que podem evidenciar aspectos positivos (*e.g.*, alegre, feliz e grato) ou negativos (*e.g.*, descontente, triste e desconfortável). Desta forma, torna-se possível identificar

¹A versão do LIWC em português do Brasil pode ser encontrada em [Filho 2013].

²<http://www.meuqueridodiario.com.br>

³Aqui são considerados como adolescentes os indivíduos com idade entre 12 anos completos e 18 anos, conforme estabelece o Estatuto da Criança e Adolescente no Brasil. O MQD possui 13.105 usuários nessa faixa de idade, o que corresponde a 22% dos usuários.

idade, estado de humor e conectividade social dos autores. Esse trabalho utiliza o LIWC para categorizar as palavras contidas nas entradas e considera que os fatores supracitados podem influenciar tanto no assunto escolhido quanto no estilo de escrita. O referido trabalho aponta, ainda, que enquanto a idade se mostra determinante para a escolha do assunto, o estado de humor influencia, de forma significativa, no estilo de escrita.

O estudo apresentado em [Peersman et al. 2011] evidencia a importância de se analisar a idade dos usuários de redes sociais para identificar perfis falsos e, consequentemente, pedófilos que se fazem passar por adolescentes. Os experimentos utilizam uma rede social belga para inferir a idade, adotando duas faixas etárias: menos de 16 anos e mais de 18 anos. Os resultados alcançaram precisão de 80.8%.

O estudo produzido em [Filho et al. 2014] visa inferir sexo e idade de usuários do Twitter, baseando-se na coleta e análise das 200 últimas entradas de um grupo de usuários. Foram separados os atributos considerados mais relevantes e, em seguida, foram aplicados alguns algoritmos de classificação. Foram obtidos bons resultados. Os autores consideram a inferência de faixa etária uma tarefa mais complexa e citam, ainda, que não foram encontrados trabalhos que visassem inferir idade para usuários que postam conteúdos em português.

É importante destacar que o presente trabalho se difere dos demais encontrados na literatura devido ao fato de utilizar o LIWC em português do Brasil para inferir a idade dos usuários, além de concentrar-se especificamente na identificação de potenciais predadores sexuais. Conforme mencionado anteriormente, o Brasil ocupou o quarto lugar no ranking mundial da pornografia infantil em 2003. Por essa razão foi utilizada uma rede social brasileira como objeto de estudo.

3. Inferência de faixa etária no uso da língua portuguesa em redes sociais utilizando o LIWC em Português do Brasil

O objetivo desta seção é descrever a extração das características das entradas dos usuários do MQD. Para isso, foi utilizado o conjunto de dados MQD900. Esse conjunto de dados contém 900 entradas de usuários distintos e 22649 atributos (*i.e.*, palavras diferentes). Das 900 entradas, 450 são de adultos do sexo masculino e 450 de adolescentes de ambos os sexos.

Nesse trabalho o MQD900 foi utilizado para produzir outro conjunto de dados, denominado MQD-AGE-2-LIWC-PT. Para isso, em um primeiro passo as palavras do MQD900 foram filtradas com a utilização do dicionário do LIWC em português do Brasil, ou seja, palavras não existentes no dicionário do LIWC foram descartadas. Em seguida, foi produzido um vetor \vec{v} de $n = 64$ posições para representar cada entrada e proveniente do conjunto de dados MQD900. Cada posição de \vec{v} representa uma das 64 categorias do LIWC. Assim, as categorias associadas a cada palavra p , utilizada em e , foram identificadas no dicionário do LIWC. Em seguida, para cada categoria identificada x_i em p , sua posição correspondente no vetor \vec{v} foi incrementada. Dessa maneira, todas as entradas em MQD900 foram representadas em MQD-AGE-2-LIWC-PT. Pode-se observar, na figura 1, a ilustração de um vetor de categorias de palavras que representa uma entrada do conjunto de dados MQD-AGE-2-LIWC-PT onde, por exemplo, 15 palavras se enquadraram na categoria x_2 e 22 palavras se enquadram na categoria x_5 .


x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	\dots	x_{63}
1	12	15	8	4	22	3	7	\dots	13
									
$n = 64$									

Figura 1. Vetor e_1 representando uma entrada utilizando as categorias do LIWC.

Posteriormente, os vetores foram normalizados. Para isso, foi utilizada a norma L^1 , ou seja, a soma das componentes em cada vetor normalizado resulta no valor 1: $x_0 + x_1 + \dots + x_{63} = 1$. O vetor normalizado da entrada e_1 , representado na Figura 1, é apresentado Figura 2. Considerando os valores entre x_8 e x_{62} como zeros, podemos notar que 17% (0.17) das palavras da entrada e_1 se enquadram na categoria x_2 . Analogamente, 25% das palavras se encaixam na categoria x_5 . Foi produzido um novo conjunto de dados MQD-AGE-2-LIWC-PT-N a partir da normalização supracitada. Ambos os conjuntos de dados foram empregados para produzir modelos de classificação.


x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	\dots	x_{63}
0.01	0.14	0.17	0.09	0.04	0.25	0.03	0.08	\dots	0.15
									
$n = 64$									

Figura 2. Vetor normalizado representando uma entrada utilizando as categorias do LIWC. Corresponde ao vetor não-normalizado ilustrado na Figura 1.

4. Resultados experimentais

Nesta seção são apresentados os resultados experimentais encontrados na inferência da faixa etária de usuários da rede social brasileira MQD utilizando o LIWC em português do Brasil. Para geração desses resultados, foram utilizados alguns algoritmos de classificação conhecidos na literatura: ZeroR, Random Forest (RF), Naive Bayes (NB), NB Multinomial (NBM), SMO e LMT. Os 5 primeiros algoritmos também foram utilizados em [Filho et al. 2014]. Para produção dos experimentos foi utilizado a ferramenta Weka [Hall et al. 2009]. Cada um dos algoritmos foi utilizado com sua configuração padrão. Os experimentos foram executados utilizando a técnica de validação cruzada denominada *k-fold validation* com dez partições. A medida *F1-score* foi utilizada para a avaliação dos resultados obtidos.

A Tabela 1 descreve os resultados obtidos. Os valores em negrito indicam os melhores F1 para os algoritmos apresentados. O algoritmo ZeroR foi utilizado como *baseline*. Os algoritmos RF e LMT apresentaram melhor F1 para o conjunto de dados MQD-AGE-2-LIWC-PT, com o LMT sendo um pouco superior ao RF. Para o conjunto MQD-AGE-2-LIWC-PT-N, os algoritmos SMO e LMT apresentaram os melhores resultados, com o LMT apresentando uma pequena melhoria com relação ao SMO.

Vale destacar que todos os algoritmos apresentaram resultados superiores ao *baseline*, indicando que a utilização do LIWC em Português do Brasil pode auxiliar na inferência da idade de usuários de redes sociais brasileiras.

Tabela 1. Classificação de faixa etária - Média F1

	ZeroR	RF	NB	NBM	SMO	LMT
MQD-AGE-2-LIWC-PT	0.333	0.718	0.519	0.710	0.716	0,729
MQD-AGE-2-LIWC-PT-N	0.333	0.711	0.519	0.693	0.715	0,729

5. Conclusões e trabalhos futuros

A contribuição desse trabalho consiste em inferir a idade de usuários de redes sociais brasileiras, considerando as diferenças linguísticas e psicológicas observadas nos textos, objetivando a identificação de potenciais predadores sexuais. Para isso, utilizamos o LIWC em português do Brasil. A principal motivação consiste no auxílio à identificação de falsos perfis, muitas vezes cadastrados por predadores sexuais. Neste trabalho, os grupos estudados foram divididos em adolescentes (*i.e.*, público alvo) e adultos do sexo masculino com idade entre 25 e 45 anos (*i.e.*, potenciais predadores sexuais).

Para realizar esse trabalho, foram produzidos dois conjuntos de dados a partir de textos de usuários de uma rede social brasileira. Esses conjuntos de dados foram avaliados com seis algoritmos de classificação: ZeroR, RF, NB, NBM, SMO e LMT. O melhor resultado para ambos os conjuntos foi alcançado pelo algoritmo LMT. Nesse cenário, observa-se que esses resultados podem servir como base para trabalhos que infiram a idade de usuários em português do Brasil e, principalmente, para trabalhos com foco na identificação de predadores sexuais do sexo masculino. Os resultados preliminares foram considerados satisfatórios.

Durante o desenvolvimento desse trabalho, emergiram algumas ideias para trabalhos futuros, dentre elas, considerar outras faixas etárias na inferência da idade de usuários. Também seria possível investigar e propor outros modelos que melhorem os resultados. Conforme mencionado, já existem trabalhos similares utilizando o dicionário do LIWC em outras línguas. No entanto, não foram encontrados trabalhos que utilizam a versão do LIWC em português do Brasil e com o objetivo de identificação de potenciais predadores sexuais. Vale ressaltar que, como trabalho futuro, pretende-se realizar a comparação com outras abordagens da literatura.

Referências

- [Barbieri 2008] Barbieri, F. (2008). Patterns of age-based linguistic variation in american english. *Journal of Sociolinguistics*, 12(1):58–88.
- [Bogdanova et al. 2012] Bogdanova, D., Rosso, P., and Solorio, T. (2012). On the impact of sentiment and emotion based features in detecting online sexual predators. In *Proceedings of the 3rd Workshop in Computational Approaches to Subjectivity and Sentiment Analysis*, pages 110–118. Association for Computational Linguistics.
- [Campos et al.] Campos, G. E., Costa, H., and Monlevade-MG-Brasil, J. Caracterização dos perfis comerciais na rede social instagram.
- [Clarke 2011] Clarke, R. (2011). *Antisocial Behavior: Causes, Correlations and Treatments*. Psychology of emotions, motivations, and actions series. Nova Science Publishers.
- [Dowdell et al. 2011] Dowdell, E. B., Burgess, A. W., and Flores, J. R. (2011). Original research: online social networking patterns among adolescents, young adults, and sexual offenders. *AJN The American Journal of Nursing*, 111(7):28–36.

- [Felipe 2006] Felipe, J. (2006). Afinal, quem é mesmo pedófilo. *Cadernos Pagu*, 26:201–223.
- [Filho et al. 2014] Filho, R. M., Carvalho, A. I., and Pappa, G. L. (2014). Inferência de sexo e idade de usuários no twitter.
- [Filho 2013] Filho, Pedro P. Balage;Pardo, T. A. S. R. M. A. (2013). An evaluation of the brazilian portuguese liwc dictionary for sentiment analysis.
- [Hall et al. 2009] Hall, M., Frank, E., Holmes, G., Pfahringer, B., Reutemann, P., and Witten, I. H. (2009). The weka data mining software: An update. *SIGKDD Explor. Newsl.*, 11(1):10–18.
- [Jackson 2008] Jackson, L. A. (2008). Adolescents and the internet. *The changing portrayal of American youth in popular media*, pages 377–410.
- [Jin et al. 2013] Jin, L., Chen, Y., Wang, T., Hui, P., and Vasilakos, A. V. (2013). Understanding user behavior in online social networks: A survey. *IEEE Communications Magazine*, 51(9):144–150.
- [Kipane, A. 2014] Kipane, A. (2014). Woman as a sexual offender – reality or myths? *SHS Web of Conferences*, 10:00016.
- [Marquardt et al. 2014] Marquardt, J., Farnadi, G., Vasudevan, G., Moens, M.-F., Davalos, S., Teredesai, A., and De Cock, M. (2014). Age and gender identification in social media. In *Proceedings of CLEF 2014 Evaluation Labs*, pages 1129–1136.
- [Nagarajan and Hearst 2009] Nagarajan, M. and Hearst, M. A. (2009). An examination of language use in online dating profiles. In *ICWSM*.
- [Nguyen et al. 2011] Nguyen, T., Phung, D., Adams, B., and Venkatesh, S. (2011). Prediction of age, sentiment, and connectivity from social media text. In *International Conference on Web Information Systems Engineering*, pages 227–240. Springer.
- [Parapar et al. 2012] Parapar, J., Losada, D., and Barreiro, A. (2012). A learning-based approach for the identification of sexual predators in chat logs. In *Conference and Labs of the Evaluation Forum: PAN 2012 Lab Uncovering Plagiarism, Authorship, and Social Software Misuse*.
- [Peersman et al. 2011] Peersman, C., Daelemans, W., and Van Vaerenbergh, L. (2011). Predicting age and gender in online social networks. In *Proceedings of the 3rd international workshop on Search and mining user-generated contents*, pages 37–44. ACM.
- [Pennebaker et al. 2001] Pennebaker, J. W., Francis, M. E., and Booth, R. J. (2001). *Linguistic Inquiry and Word Count*. Lawrence Erlbaum Associates, Mahwah, NJ.
- [Plasencia 2000] Plasencia, M. M. (2000). Internet sexual predators: Protecting children in the global community. *J. Gender Race & Just.*, 4:15.
- [Potha et al. 2016] Potha, N., Maragoudakis, M., and Lyras, D. (2016). A biology-inspired, data mining framework for extracting patterns in sexual cyberbullying data. *Knowledge-Based Systems*, 96:134–155.
- [Schwartz et al. 2013] Schwartz, H. A., Eichstaedt, J. C., Kern, M. L., Dziurzynski, L., Ramones, S. M., Agrawal, M., Shah, A., Kosinski, M., Stillwell, D., Seligman, M. E., et al. (2013). Personality, gender, and age in the language of social media: The open-vocabulary approach. *PloS one*, 8(9):e73791.

Classificação de filmes: uma abordagem utilizando o LIWC

Rian Tavares¹, Gustavo Paiva Guedes¹

¹Departamento de Informática – Centro Federal de Educação Tecnológica
Celso Suckow da Fonseca (CEFET/RJ) – Rio de Janeiro - RJ – Brasil

rian.tavares@gmail.com, gustavo.guedes@cefet-rj.br

Abstract. *This article aims to present an approach to classify movies based on their subtitles and information extracted from social networks. The methodology developed uses LIWC program, which contains a dictionary of words that allows extracting linguistic, psychological and social characteristics of texts. Preliminary results were very satisfactory, indicating promising directions for this study.*

Resumo. *Esse artigo tem o objetivo de apresentar uma abordagem para classificação de filmes com base em suas legendas e informações extraídas de redes sociais. A metodologia desenvolvida utiliza o programa LIWC, que contém um dicionário de palavras que permite extrair características linguísticas, psicológicas e sociais de textos. Os resultados preliminares foram bastante satisfatórios, indicando direções promissoras para esse trabalho.*

1. Introdução

A Computação Afetiva (CA) é uma área de pesquisa que compreende a criação de sistemas capazes de reconhecer, interpretar e simular emoções [Picard 1997]. É uma área multidisciplinar que envolve conceitos provenientes da Ciência da Computação, Psicologia e Ciências Cognitivas. Na Psicologia, por exemplo, sabe-se que escrever sobre as emoções em experiências pessoais pode trazer melhorias na saúde mental e psicológica [Pennebaker and Seagal 1999]. Na área da computação, estudos estão auxiliando usuários de redes sociais a selecionar documentos com base em suas emoções [Bao et al. 2012].

No âmbito da Ciência da Computação, a CA engloba dois tópicos de pesquisa distintos: Análise de Sentimentos (AS) e Reconhecimento de Emoções (RE) [Poria et al. 2017]. Já se sabe pela neurociência que sentimentos e emoções representam um papel importante na forma que os indivíduos se comportam [Marg 1995]. Isso pode ser evidenciado por alguns trabalhos que desenvolvem pesquisas relacionadas a esses tópicos, por exemplo auxiliando aos usuários no entendimento de sentimentos, opiniões e emoções expressos em textos [Nascimento et al. 2012].

Outro cenário que abrange a detecção de emoções e sentimentos é proveniente da indústria cinematográfica. Conforme descrito em [Oliveira et al. 2011], os filmes são, por excelência, uma forma de arte que envolve atividade afetiva. Nesse aspecto, os filmes têm sido bastante explorados na área da psicologia para a indução de emoções [Ashby et al. 2002]. Isso também ocorre na área da computação, em que alguns trabalhos utilizam as legendas dos filmes para encontrar o gênero dos filmes [Wortman 2010].

Nesse panorama, o presente trabalho apresenta um estudo sobre a utilização de legendas de filmes para a classificar a qualidade de filmes nas classes *excelente* e *ruim*, conforme adotado em [Mullen and Collier 2004, Ye et al. 2006]. Além disso, esse estudo examina se informações provenientes do Facebook podem auxiliar no processo de classificação. Vale ressaltar que a maior motivação desse trabalho consiste em auxiliar usuários a encontrar filmes de interesse, dada a grande quantidade de filmes disponíveis.

Esse artigo é dividido em mais cinco seções. Na Seção 2 são discutidos alguns trabalhos relacionados. Na Seção 3 são descritas a metodologia desse estudo e a criação dos conjuntos de dados. Na Seção 4 são exibidos os resultados experimentais. Na Seção 5 são discutidas as conclusões e algumas perspectivas para trabalhos futuros. Por fim, na Seção 6, são feitos os agradecimentos.

2. Trabalhos Relacionados

O trabalho proposto em [Ye et al. 2006] se enquadra na área de mineração de opiniões em filmes, em que são utilizados os textos de avaliações realizadas por usuários. Esse trabalho desenvolve uma abordagem de orientação semântica para o chinês. Dessa maneira, o maior objetivo é realizar a classificação de filmes nas classes *excelente* e *ruim*. Vale ressaltar que a orientação semântica das palavras é calculada de acordo com a distância semântica entre as palavras dos textos das avaliações e um conjunto de dados padrão.

[Mullen and Collier 2004] utilizam uma abordagem semelhante à supracitada. O objetivo principal também consiste em atribuir valores semânticos aos textos de avaliações de filmes. De forma análoga, os autores buscam classificar filmes nas classes *excelente* e *ruim*. No entanto, os autores desenvolvem uma abordagem baseada em Máquina de Vetores de Suporte (MVS).

O estudo desenvolvido por [Wortman 2010] utiliza legendas de filmes para a classificação de gênero (e.g. drama, suspense, terror). A abordagem proposta pelo autor também utiliza o LIWC para produzir vetores representando as legendas dos filmes. Em seguida, é calculada a similaridade entre esses vetores e modelos de gêneros de filmes propostos pelo autor. Os resultados alcançados nesse trabalho são bastante satisfatórios.

Diversos trabalhos existentes na literatura estudam a classificação de filmes. Entretanto, não foram encontrados estudos que utilizem o LIWC para realizar a classificação da qualidade dos filmes. Dessa maneira, o presente trabalho utiliza conceitos de alguns trabalhos existentes na literatura para propor uma metodologia que envolve a utilização do LIWC, as legendas dos filmes e informações provenientes do Facebook para classificar os filmes nas classes *excelente* e *ruim*.

3. Metodologia

A metodologia proposta para esse trabalho é descrita em 4 fases: extração dos dados, seleção dos dados, integração/transformação dos dados e seleção de atributos.

3.1. Extração dos dados

A extração dos dados desse estudo foi efetuada a partir de dois conjuntos de dados: o primeiro, referente à legendas de filmes e o segundo, relacionado à informações coletadas de um banco de dados de filmes. O conjunto de dados de legendas de filmes pode ser encontrado em [Wortman 2010] e compreende legendas de 1, 184 filmes na língua inglesa.

O conjunto de dados com informações coletadas dos filmes provém do IMDB. O Internet Movie Database (IMDB: www.imdb.com) disponibiliza informação sobre filmes, como diretor, atores, orçamento, ano, etc. Assim, o conjunto de dados utilizado, denominado IMDB5000¹, possui informações de filmes provenientes do IMDB e do Facebook. É composto de dados de 5.043 filmes e possui 28 atributos relacionados a cada filme.

O LIWC [Pennebaker and Seagal 1999] foi desenvolvido com o intuito de fornecer um método eficiente para estudar fatores emocionais, cognitivos, estruturais, entre outros, presentes em amostras de falas verbais e escritas de indivíduos. Seu núcleo é constituído por um dicionário de palavras que fornece informações sobre os fatores supracitados. Nesse trabalho utilizamos a versão em inglês do dicionário LIWC, que possui, aproximadamente, 6.540 palavras, em cada palavra é associada a uma ou mais categorias dentre as 73 categorias presentes no dicionário.

3.2. Seleção dos dados

Inicialmente, foram selecionados todos os nomes de filmes existentes tanto no conjunto de dados de legendas quanto no conjunto de dados IMDB5000, o que totalizou 672 filmes. Em seguida, selecionamos um subconjunto de 4 atributos do conjunto de dados IMDB5000. Esses atributos fazem referência à nota do filme no IMDB (*imdb_score*), à quantidade de *likes* recebidos pelo diretor do filme no Facebook (*director_facebook_likes*), à quantidade de *likes* recebidos pelo filme no Facebook (*movie_facebook_likes*) e à quantidade de *likes* que o elenco do filme recebeu no Facebook (*cast_total_facebook_likes*). Em seguida, foram efetuadas algumas transformações nos 672 filmes e no atributo *imdb_score*, descritas na Subseção 3.3.

3.3. Integração/transformação dos dados

Um usuário que deseja avaliar um filme no IMDB pode inserir uma nota entre 0 e 10. Dessa maneira, a nota final de um filme é composta pela média das notas que todos os usuários atribuíram. Com isso, as notas finais são representadas por valores contínuos. Esses valores são representados pelo atributo *imdb_score* no conjunto de dados IMDB5000. Nesse estudo, esses valores foram generalizados e definidos em 4 classes distintas, conforme em [Asad et al. 2012]. A Tabela 1 apresenta as classes utilizadas para cada faixa de valor.

Tabela 1. Faixas correspondente a cada classe utilizada para classificar filmes.

Classe	Faixa
Excelente	7.5 - 10
Bom	5.0 - 7.4
Ruim	2.5 - 4.9
Péssimo	1.0 - 2.4

Esse estudo é centralizado na classificação de filmes das classes excelente e ruim, conforme mencionado na Seção 1. Com isso, serão considerados apenas os filmes dessas classes, o que totaliza 172 filmes: 125 rotulados com a classe excelente e 47 com a classe ruim.

¹<https://www.kaggle.com/deepmatrix/imdb-5000-movie-dataset>

Em seguida, os textos das legendas dos filmes e os 3 atributos relacionados ao Facebook (ver Seção 3.2) foram utilizados para produzir 172 vetores (um para cada filme) de dimensão $n = 76$, representando as 73 categorias do LIWC e os 3 atributos provenientes do Facebook. Para produzir um vetor \vec{v} representando um filme f , foram consideradas as palavras existentes nas legendas desse filme. Cada palavra p existente no filme f foi pesquisada no dicionário do LIWC e suas categorias foram identificadas. Para cada categoria identificada x_i em p , sua posição correspondente no vetor \vec{v} foi incrementada em 1. Assim foram formadas as 73 posições iniciais do vetor \vec{v} . As 3 últimas posições foram compostas pelos valores existentes nos seguintes atributos provenientes do IMDB5000: *movie_facebook_likes*, *director_facebook_likes* e *cast_total_facebook_likes*. A Figura 1 ilustra o processo utilizado para representar cada filme.

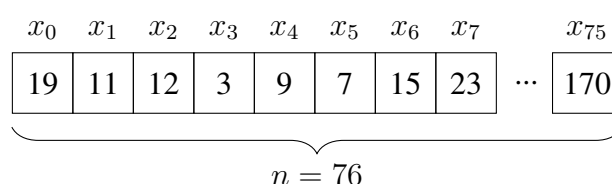


Figura 1. Vetor representando um filme utilizando as categorias do LIWC e 3 atributos provenientes do IMDB5000.

Podemos notar que $x_0 = 19$, assinalando que ocorreram 19 palavras no filme f que se enquadraram nessa categoria. Para o caso de x_5 , é possível perceber que 7 palavras pertencem a essa categoria. Com relação às 3 últimas posições, os valores representam o número de curtidas. Como exemplo, a posição x_{75} corresponde ao número total de curtidas obtidas pelos atores no Facebook (*cast_total_facebook_likes*).

Em seguida, cada filme foi associado a sua respectiva classe (i.e. excelente ou ruim). O conjunto de dados resultante foi denominado `FILM-172-76`. Esse conjunto é composto por 172 instâncias (125 da classe *excelente* e 47 da classe *ruim*) e 76 atributos.

3.4. Seleção de atributos

O processo descrito na Seção 3.3 foi responsável pela produção do conjunto de dados `FILM-172-76`. Dado que diversos atributos podem atrapalhar a tarefa de classificação [Jain and Zongker 1997], foram selecionados 20% dos atributos com maior importância seguindo o Princípio de Pareto [Koch 1999], também denominado princípio 80-20. Existem diversas maneiras de calcular a importância dos atributos de um conjunto de dados. Nesse estudo, utilizamos o Ganho de Informação (Information Gain) [Han et al. 2011] para selecionar 15 (20%) dos atributos com maior importância. Esse conjunto de dados foi denominado `FILM-172-15`.

4. Resultados experimentais

Os resultados experimentais desse trabalho foram produzidos com a utilização do conjunto de dados `FILM-172-76` e `FILM-172-15`, descritos na Seção 3. Para realizar os experimentos foi utilizada a plataforma WEKA [Hall et al. 2009]. Essa plataforma possui uma série de algoritmos de aprendizagem de máquina bem conhecidos na literatura. Nesse trabalho, foram utilizados 4 algoritmos que apresentam bons resultados na área de

mineração de texto, são eles: Random Forest (RF), Naive Bayes (NB), NB Multinomial e Sequential Minimal Optimization (SMO). O ZeroR foi utilizado como *baseline*.

A Tabela 2 ilustra os resultados obtidos para os dois conjuntos supracitados. Com exceção do *baseline*, os algoritmos obtiveram melhores resultados no conjunto de dados FILM-172-15. Os valores em negrito indicam o algoritmo que obteve o melhor F1 para o conjunto de dados em questão. O algoritmo RF se comportou melhor no conjunto de dados FILM-172-76 e o SMO apresentou melhores resultados para o conjunto de dados FILM-172-15.

Tabela 2. Resultados da classificação dos filmes - Média F1

	ZeroR	RF	NB	NBM	SMO
FILM-172-76	0.446	0.502	0.454	0.405	0.464
FILM-172-15	0.446	0.580	0.506	0.470	0.600

É interessante destacar que todos os algoritmos se comportaram apresentando melhores resultados que o ZeroR, utilizado como *baseline*. Isso indica que a metodologia proposta nesse estudo e a utilização do LIWC são capazes de auxiliar na distinção de filmes excelentes e ruins. Os melhores resultados alcançados com o conjunto de dados com redução de atributos (FILM-172-15) são bastante fundamentados na literatura, visto que muitas vezes a redução de dimensionalidade pode não apenas melhorar os resultados, mas também reduzir o tempo de processamento [Jain and Zongker 1997].

5. Conclusão

Esse estudo teve como objetivo a utilização do dicionário de palavras do LIWC para classificar a qualidade de filmes a partir de suas legendas. Para isso, foram produzidos dois conjuntos de dados, denominados FILM-172-76 e FILM-172-15. Em seguida, foram aplicados alguns algoritmos conhecidos na literatura para realizar os experimentos: RF, NB, NBM e SMO. Os resultados foram satisfatórios, indicando que o caminho seguido ainda pode ser explorado em trabalhos futuros.

Como trabalhos futuros, surgiram algumas ideias que terão sua viabilidade estudadas. Dentre elas, a possibilidade de buscar outras redes sociais (além do Facebook) capazes de fornecer dados que possam auxiliar na classificação. Isso pode envolver, também, textos de avaliações de filmes realizadas por usuários. Também é considerada a utilização das classes *bom* e *péssimo*. Como trabalho futuro também é vislumbrado o desenvolvimento de um sistema capaz de avaliar filmes antes mesmo do lançamento, visando assim a redução o tempo em que o filme é lançado até a coleta de um conjunto de avaliações e críticas. Para tanto, já estão sendo estudadas maneiras de viabilizar uma maior quantidade de legendas de filmes.

6. Agradecimentos

Os autores agradecem ao CEFET/RJ pela bolsa de iniciação científica concedida à Rian Tavares.

Referências

- Asad, K. I., Ahmed, T., and Rahman, M. S. (2012). Movie popularity classification based on inherent movie attributes using c4. 5, part and correlation coefficient. In *Informatics, Electronics & Vision (ICIEV), 2012 International Conference on*, pages 747–752. IEEE.
- Ashby, F. G., Valentin, V. V., et al. (2002). The effects of positive affect and arousal and working memory and executive attention: Neurobiology and computational models.
- Bao, S., Xu, S., Zhang, L., Yan, R., Su, Z., Han, D., and Yu, Y. (2012). Mining social emotions from affective text. *Knowledge and Data Engineering, IEEE Transactions on*, 24(9):1658–1670.
- Hall, M., Frank, E., Holmes, G., Pfahringer, B., Reutemann, P., and Witten, I. H. (2009). The weka data mining software: an update. *ACM SIGKDD explorations newsletter*, 11(1):10–18.
- Han, J., Pei, J., and Kamber, M. (2011). *Data mining: concepts and techniques*. Elsevier.
- Jain, A. and Zongker, D. (1997). Feature selection: Evaluation, application, and small sample performance. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 19(2):153–158.
- Koch, R. (1999). *The 80/20 Principle: The Secret of Achieving More with Less*. A Currency book. Doubleday.
- Marg, E. (1995). Descartes' error: Emotion, reason, and the human brain. *Optometry & Vision Science*, 72(11):847–848.
- Mullen, T. and Collier, N. (2004). Sentiment analysis using support vector machines with diverse information sources. In *EMNLP*, volume 4, pages 412–418.
- Nascimento, P., Aguas, R., Lima, D., Kong, X., Osiek, B., Xexéo, G., and Souza, J. (2012). Análise de sentimento de tweets com foco em notícias. In *Brazilian Workshop on Social Network Analysis and Mining*.
- Oliveira, E., Martins, P., and Chambel, T. (2011). Ifelt: Accessing movies through our emotions. In *Proceedings of the 9th International Interactive Conference on Interactive Television, EuroITV '11*, pages 105–114, New York, NY, USA. ACM.
- Pennebaker, J. W. and Seagal, J. D. (1999). Forming a story: The health benefits of narrative. *Journal of clinical psychology*, 55(10):1243–1254.
- Picard, R. W. (1997). *Affective Computing*. MIT Press, Cambridge, MA, USA.
- Poria, S., Cambria, E., Bajpai, R., and Hussain, A. (2017). A review of affective computing: From unimodal analysis to multimodal fusion. *Information Fusion*, 37:98–125.
- Wortman, J. (2010). *Film classification using subtitles and automatically generated language factors*. Technion-Israel Institute of Technology, Faculty of Industrial and Management Engineering.
- Ye, Q., Shi, W., and Li, Y. (2006). Sentiment classification for movie reviews in chinese by improved semantic oriented approach. In *System Sciences, 2006. HICSS'06. Proceedings of the 39th Annual Hawaii International Conference on*, volume 3, pages 53b–53b. IEEE.

Um Método de Avaliação da Importância de Medidas para Predição da Nota de um Filme

Gilvan V. Magalhães Junior¹, Roney L. de S. Santos¹, Raimundo S. Moura¹

¹Departamento de Computação – Universidade Federal do Piauí (UFPI)
64.049-550 – Teresina – PI – Brasil

gilvanvmj@gmail.com, roneylira@hotmail.com, rsm@ufpi.edu.br

Abstract. *Analyzing information about movies before watching them is a common practice performed by the audience. But, the large amount of reviews in Online Social Networks and Web sites makes this task almost impossible. As a possible solution to such a problem, some sites use filters based on the scores given by users in their reviews. However, this practice can result in users using the scores as a way to get highlighted. This work proposes an automatic method to analyze the importance of measures from the reviews with the intention of predicting the users' scores. An experiment was carried out with five films of different genres and sets of reviews defined by three thresholds. The experiment showed that the best results were obtained with the threshold of 0.5 and the most important measures were: number of sentences, amount of criticism and correctness of the review.*

Resumo. *Analisar informações sobre filmes antes de assisti-los é uma prática comum realizada pelo público. Entretanto, a grande quantidade de reviews nas Redes Sociais Online (RSO) e em sites da Web torna essa tarefa quase impossível. Como uma possível solução para tal problema, alguns sites utilizam filtros baseados nas notas dadas pelos usuários em seus reviews. No entanto, essa prática pode resultar em usuários utilizando as notas como um artifício para obter destaque. Este trabalho propõe um método automático para analisar a importância de medidas a partir dos reviews com a intenção de prever a nota dos usuários. Realizou-se um experimento com cinco filmes de gêneros diferentes e conjuntos de reviews definidos por três limiares. O experimento mostrou que os melhores resultados foram obtidos com o limiar 0,5 e as medidas de maior importância foram: quantidade de sentenças, quantidade de críticas e correteza do review.*

1. Introdução

Devido ao avanço da *Web*, pessoas de todo o mundo deixaram de utilizá-la apenas para buscar informações e começaram a compartilhar suas opiniões e experiências por meio de *reviews* on-line. Fontes de pesquisa tais como fóruns, grupos de discussão, blogs, Redes Sociais *Online* (RSO) e *sites* de críticas, além de facilitar o acesso a essas informações contribuem para a formação ou fortalecimento de opiniões. Nas atividades comerciais, quando uma pessoa tem interesse por um produto ou serviço é comum, para tomada de decisão, que ela procure referências ou opiniões de outras pessoas. Isto não é verdadeiro apenas para uma pessoa, mas também para organizações, uma vez que empresas que

vendem produtos e disponibilizam serviços também são motivadas a ter conhecimento das opiniões das pessoas, tendo que procurar formas de analisar essas informações para conduzir ações de marketing e tomada de decisão. [de S. Santos et al. 2016].

No entanto, a quantidade de *reviews* publicados diariamente na *Web* é grande e abrange diversos assuntos e opiniões, o que gera a questão sobre quais *reviews* devem ser lidos por exemplo, quando se quer saber sobre a opinião cibernética a respeito de um filme específico. Essas informações originadas de diversas fontes estão distribuídas de forma não estruturada. Com a difusão da *Web*, a grande quantidade de dados faz com que a análise humana se torne uma tarefa impossível, sendo necessária a criação de métodos automáticos para analisar os dados [Liu 2010].

Como uma solução para tal problema, alguns sites utilizam filtros baseados em votos de utilidade de *review* para retornar os melhores, mas tal medida pode não ser a melhor, tendo em vista que novos *reviews* não possuem votos. Outro método utilizado em *sites* é a classificação que o próprio usuário pode dar ao filme por meio de estrelas ou notas, o que pode implicar no problema de usuários classificando filmes com nota máxima apenas com o intuito de ter destaque no *site*. A Figura 1 mostra um *review* de usuário que não assistiu o filme e ainda assim atribuiu uma nota a ele.

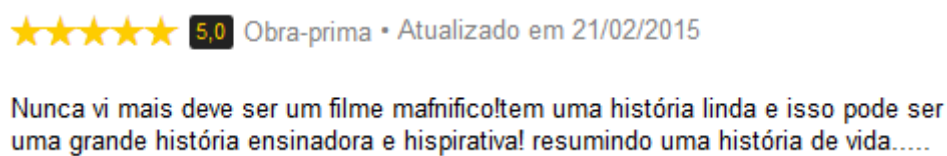


Figura 1. Exemplo de *review*

Este trabalho propõe um método automático de definição da importância das medidas de *reviews* on-line de usuários do *site* Adoro Cinema¹ e predição de suas notas a filmes, utilizando Rede Neural Artificial (RNA). Optou-se por utilizar o Adoro Cinema pelo fato deste possuir o mais abrangente banco de dados sobre cinema no Brasil com mais de 600 mil usuários cadastrados e mais de 80 mil críticas de filmes escritas pelos usuários².

O restante deste trabalho está organizado da seguinte forma: a Seção 2 apresenta os trabalhos relacionados. A Seção 3 descreve a metodologia a ser utilizada. Na Seção 4 são apresentados os resultados e discussões sobre o trabalho. Por fim, a Seção 5 apresenta as conclusões e os trabalhos futuros.

2. Trabalhos Relacionados

[Turney 2002] propôs um algoritmo simples de aprendizado não-supervisionado para classificar comentários como recomendados ou não recomendados. Na prática, o autor avaliou o comentário pela orientação semântica de suas frases contendo adjetivos ou advérbios. O primeiro passo foi identificar as frases que continham adjetivos ou advérbios utilizando um etiquetador. Em seguida, foi analisada a orientação semântica de cada frase extraída (frase positiva ou negativa). Por fim, o terceiro passo foi classificar o *review*

¹<http://www.adorocinema.com>

²<http://www.adorocinema.com/servicos/sobre-nos/>

como recomendado ou não recomendado baseado na média da orientação semântica das frases extraídas.

O trabalho de [Barbosa et al. 2016] teve como objetivo estudar formas de quantificar e prever a percepção de utilidade de *reviews* de usuários na *site* Steam. Para isso, eles construíram uma RNA com 11 entradas referentes ao usuário e ao *review*: i) média de votos por *review* do usuário; ii) nota média do usuário; iii) quantidade de horas jogadas; iv) quantidade de amigos; v) padrões linguísticos; vi) legibilidade do *review*; vii) quantidade de palavras; viii) quantidade de sentenças; ix) diferença entre avaliação do usuário e média do produto; x) quantidade de palavras monossílabas; xi) diferença de dias entre o lançamento do produto e postagem. Os resultados deste estudo foram positivos e inferem que as principais características importantes para percepção de utilidade são a reputação do autor e a quantidade de horas jogadas pelo autor.

Em seu trabalho, [Schmit and Wubben 2015] compilaram um corpus de *tweets* para prever os escores de classificação de filmes recém-lançados na IMDB³. As previsões foram feitas com diversos algoritmos de aprendizagem de máquina, explorando ambos os métodos de regressão e classificação. Em seus estudos, eles exploraram o uso de vários tipos diferentes de características textuais nas tarefas de aprendizado de máquina. Os resultados mostraram que o desempenho de predição baseado em características textuais derivadas do corpus de *tweets* melhorou na linha de base tanto para regressão como para tarefas de classificação.

[Ganu et al. 2013] propuseram métodos para derivar uma classificação baseada em texto a partir do corpo de *reviews*. Em seguida, agruparam usuários semelhantes em conjunto usando técnicas de *soft clustering* com base nos tópicos e sentimentos que aparecem nos *reviews*. Os resultados do trabalho mostraram que o uso de informações textuais resulta em melhores previsões de nota de *reviews* do que aquelas derivadas das classificações de estrelas numéricas dadas pelos usuários.

A proposta de [Kim et al. 2006] foi um algoritmo para avaliar automaticamente a utilidade e classificar o *review* de acordo com o resultado do algoritmo. Explorando a multiplicidade de avaliações feitas pelos usuários na *Amazon*⁴, foi treinado um sistema de regressão SVM (*Support Vector Machine*) para aprender uma função de utilidade e em seguida aplicar a função para classificar os *reviews* sem etiqueta. Também foi realizada uma análise detalhada de diferentes aspectos para estudar a importância de várias classes de aspectos na captura de utilidade, descobrindo assim que as características mais úteis foram o tamanho do *review*, seus unigramas e sua classificação de produto.

Destaca-se que o nosso trabalho utiliza padrões linguísticos para extrair a quantidade de características de um *review*, adaptados da ideia de [Turney 2002]. O método proposto é semelhante ao trabalho de [Barbosa et al. 2016], porém, neste trabalho construímos RNAs com 9 e 7 entradas para definição da importância das medidas de *reviews* e predição da nota de usuários a filmes, explicadas na Seção 4. Diferente do trabalho de [Ganu et al. 2013], nosso trabalho não utilizou sentimentos que aparecem nos *reviews*, no entanto poderiam ter sido explorados.

³<http://www.imdb.com/>

⁴<https://www.amazon.com>

3. Metodologia

O modelo proposto para analisar a importância de medidas extraídas de *reviews* de usuários do domínio de cinema e fazer a previsão das notas dadas aos filmes utiliza uma RNA MLP contendo três camadas, como pode ser visto na Figura 2.

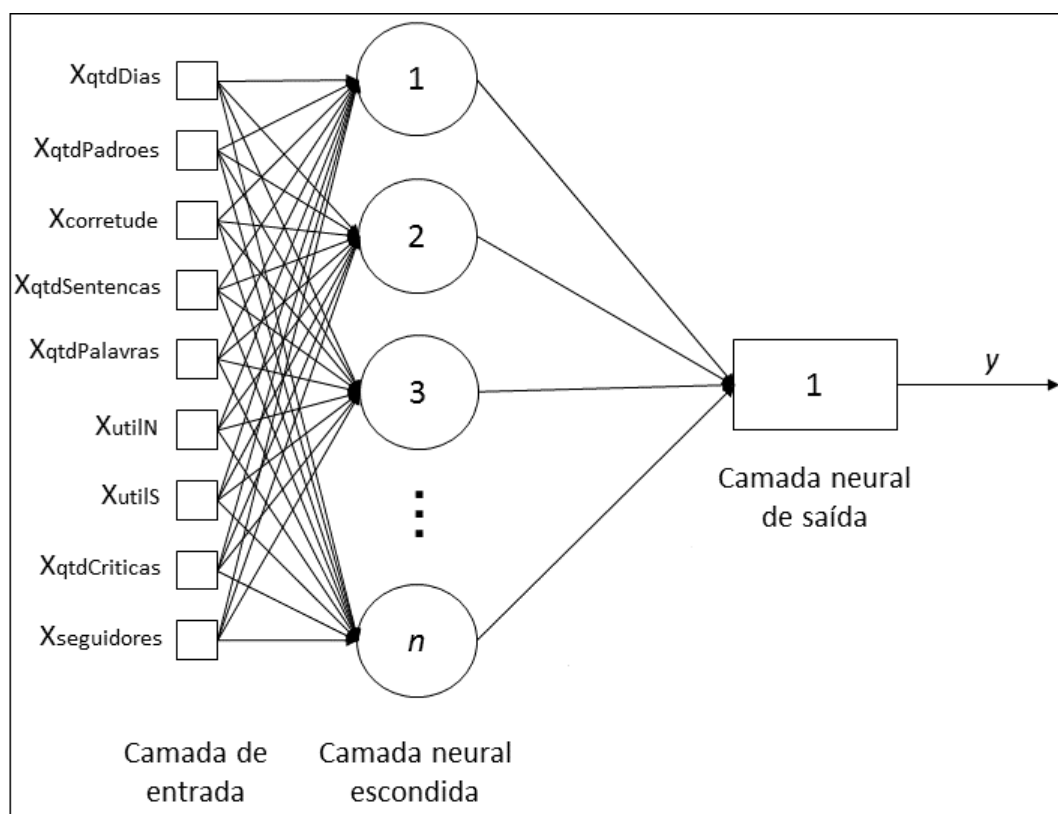


Figura 2. Estrutura geral da Rede Neural Artificial

As seguintes medidas são utilizadas como entradas do modelo: nota em estrelas do filme (valor dado pelo autor entre 0 e 5), número de seguidores do autor (*seguidores*), número de críticas publicadas por ele (*qtdCriticas*), votos de utilidade (*utilN* e *utilS*), quantidade de palavras (*qtdPalavras*), quantidade de sentenças (*qtdSentencas*), quantidade de palavras corretas (*corretude*), quantidade de características (*qtdPadroes*) e número de dias corridos desde a publicação do *review* (*qtdDias*).

A nota em estrelas, número de seguidores, número de críticas, votos de utilidade e o número de dias corridos são obtidos diretamente do *review*. A quantidade de palavras assim como a quantidade de sentenças podem ser obtidas por meio de expressões regulares. No caso da medida quantidade de sentenças, a cada um ou vários sinais de pontuação (ponto, exclamação ou interrogação) encontrados caracterizam uma sentença, por exemplo: “Amei...”, “O melhor filme do ano, com certeza!!” ou “Bem, por onde começar?”. A medida de quantidade de palavras corretas, pode ser obtida como o uso de um léxico ou dicionário.

A medida referente à quantidade de características pode ser alcançada por meio das classes gramaticais dos tokens, definidas por um etiquetador. As características foram identificadas utilizando reconhecimento dos padrões linguísticos pré-definidos, mos-

trados na Tabela 1, os quais foram adaptados para o Português com base nos padrões linguísticos de [Turney 2002]. A contagem das características se deu pelo número de padrões linguísticos encontrados em cada crítica.

Tabela 1. Padrões linguísticos identificados

Padrão	Padrão linguístico
1	<SUBS> <ADV>? <ADJ>
2	<ADJ> <ADV>? <SUBS>
3	<SUBS> <V> <ADJ>

Para melhor entendimento dos padrões, seguem abaixo alguns exemplos práticos de reconhecimento:

Padrão 1 “filme perfeito”, “filme muito bom”, “ator fantástico”

Padrão 2 “grandes filmes”, “muito bom filme”, “melhor livro”

Padrão 3 “filme é ótimo”, “filme foi perfeito”, “Vorazes aproveitou bem”

3.1. Ajustes da RNA

O modelo proposto utiliza uma RNA *Multilayer Perceptron* (MLP) como aproximador de função para implementação do método por ser um aproximador universal. O teorema de aproximação universal aplicado ao MLP fornece a base necessária para definir as configurações estruturais dessas redes, a fim de mapear funções algébricas [da Silva et al. 2010]. Além disso, o modelo de RNA permite capturar relações não-lineares nos dados sem a necessidade de especificação prévia [Lee and Choeh 2014].

A camada escondida é composta de neurônios e é responsável por todo o processamento interno da rede. A definição da topologia é feita baseada no algoritmo de Seleção de Arquitetura Especializada [IBM Corp. 2011b], que em meio a um intervalo de possíveis valores de neurônios seleciona o “melhor” número de neurônios da camada escondida [de S. Santos 2017]. No entanto, é definido e o algoritmo seleciona o . A camada de saída, constituída de apenas um neurônio, é responsável pela produção do resultado final, que representa a nota predita do *review*. Na camada de saída foi utilizada a função identidade pois o neurônio de saída executa apenas uma combinação linear de funções.

As medidas obtidas de cada *review* devem ser normalizadas e em seguida submetidas como entrada para a RNA. A divisão dos *reviews* em amostras de treino, teste e *holdout* foram especificadas com os valores 9, 1, 0 que representam cada amostra respectivamente e correspondem a 90%, 10% e 0%. O método de particionamento 9, 1, 0 obteve melhor resultados em meio a testes utilizando também os valores 7, 3, 0 (70%, 30% e 0%) e 2, 1, 1 (50%, 25% e 25%), valores empiricamente definidos.

O tipo de treinamento em lotes foi utilizado. Ele atualiza os pesos sinápticos somente após passar todos os registros de dados de treinamento, ou seja, o treinamento em lote usa informações de todos os registros no conjunto de dados de treinamento. Esse tipo de treinamento é frequentemente preferido porque minimiza diretamente o erro total [IBM Corp. 2011a]. Ao final da fase de ajustes, a RNA resulta uma topologia com o valor de neurônios na camada escondida e camada de saída contendo a nota predita. As melhores topologias encontradas serão mostradas na Seção 4.2.

4. Resultados e Discussões

Para avaliar o modelo proposto, realizou-se um experimento com um Córpus de *reviews* de filmes coletados no site Adoro Cinema, descrito a seguir.

4.1. Córpus AdoroCinema

Os dados foram coletados do *site* Adoro Cinema no mês de outubro de 2016 no total de 2.581 *reviews* de usuários e as notas de três veículos da imprensa brasileira que possuíam *reviews* em cada um dos cinco filmes (selecionados aleatoriamente). Os filmes escolhidos possuíam mais comentários e pertencem a gêneros distintos com o objetivo de diversificar o perfil do público. O filme 1 de gênero drama tinha 433 *reviews* de usuários, o filme 2 de gênero romance tinha 442, o filme 3 com gênero ficção científica tinha 499, o filme 4 com gênero ação tinha 577 e o filme 5 com gênero aventura tinha 630. Com finalidade de extrair os dados, a linguagem *Python* combinada com o *Selenium WebDriver*⁵ foram utilizados.

As informações dos *reviews* estão dispostas dentre os seguintes aspectos: 1) estrelas (representa a nota ao filme); 2) perfil do usuário (contém características do autor, tais como: nome, quantidade de seguidores e quantidade de críticas); 3) texto (representa a opinião sobre o filme); 4) data (representa quando o *review* foi publicado); e 5) votos de utilidade (representa a aceitação do *review* por outros usuários do *site*). As informações contidas no *review* podem ser vistas na Figura 3

The image shows a screenshot of a movie review on the Adoro Cinema website. The review is for the movie 'Velozes e Furiosos 7'. The user 'Elvira A.' has written the review, which is 4.5 stars and was updated on 26/05/2015. The review text discusses the action genre, the plot, and the performance of the cast. Below the review, there are buttons for voting on the usefulness of the review (smiley and frowny faces) and social media sharing options (Facebook, Twitter, Google+).

Figura 3. Descrição de informações do review

Dentre os *reviews* coletados, foi observado que os votos de utilidade no *site* foram pouco utilizados, ou seja, dos 2.581 apenas 290 *reviews* receberam votos de útil (783 votos) ou não útil (696 votos). Os demais *reviews* possuem o valor zero nestas variáveis. Portanto, para analisar a influência dessas medidas o experimento foi dividido em dois grupos: o grupo 1, onde as medidas de utilidade foram incluídas e o grupo 2, onde essas medidas foram desconsideradas.

⁵<http://www.seleniumhq.org/projects/webdriver/>

4.2. Experimento

O valor a ser inferido pela RNA é comparado com uma nota juiz, que foi definida como a média aritmética simples das notas dos críticos da imprensa brasileira que possuam *reviews* nos cinco filmes escolhidos.

O passo seguinte foi agrupar os *reviews* sob diferentes condições com o intuito de perceber a melhor das topologias utilizadas no experimento e obter as notas preditas pela RNA. Os limiares ($\pm 0,5$), ($\pm 1,0$) e (todos os *reviews*) foram empiricamente definidos e aplicados aos *reviews* de cada filme, buscando dividi-los por meio da nota em estrelas. Os grupos atendem os seguintes intervalos: (nota juiz - 0,5) \leq nota em estrelas \leq (nota juiz + 0,5), (nota juiz - 1,0) \leq nota em estrelas \leq (nota juiz + 1,0) e todos os *reviews*. Para melhor entendimento, a Tabela 2 apresenta a aplicação dos limiares para dois filmes.

Tabela 2. Aplicação dos limiares

Filmes	Nota juiz	Limiar	Intervalo
Filme 1	3,67	0,5	3,17 \leq nota em estrelas \leq 4,17
		1,0	2,67 \leq nota em estrelas \leq 4,67
		todos	0,0 \leq nota em estrelas \leq 5,0
Filme 2	3,0	0,5	2,5 \leq nota em estrelas \leq 3,5
		1,0	2,0 \leq nota em estrelas \leq 4,0
		todos	0,0 \leq nota em estrelas \leq 5,0

Para cada filme, foram selecionados os *reviews* com as notas pertencentes ao intervalo dos limiares e, em seguida, submetidos ao modelo da RNA considerando duas variações: i) grupo 1, incluindo as medidas de utilidade (*utilN* e *utilS*); e ii) grupo 2, sem as medidas de utilidade. Ressalta-se que nossa intenção é obter as notas preditas e analisar as melhores topologias.

Posteriormente, para efetivar a validação dos resultados, foi feita a comparação entre as notas em estrela dos *reviews* coletados e as notas preditas pela RNA por meio do módulo da diferença entre elas. Quando o valor do módulo foi inferior ou igual a 0,5, a nota predita foi considerada correta. Caso contrário, a nota predita foi considerada errada. O valor de aproximação 0,5 foi empiricamente definido baseado na aproximação numérica, mas é importante ressaltar que quanto menor for esse valor, maior será a confiabilidade dos *reviews*. Na Tabela 3 são mostrados os resultados das RNAs.

Observa-se na Tabela 3 que a taxa de acerto é melhor quando as medidas de utilidade são usadas, exceto no filme 2 (limiar 0,5) e no filme 4 (limiar todos). No filme 2 com o limiar 0,5, a RNA pode não ter conseguido generalizar da forma esperada as entradas referentes à utilidade, possivelmente devido a baixa qualidade dos *reviews* desse limiar. No filme 4 com o limiar todos, a exceção ocorreu devido a taxa de *reviews* com votos de utilidade ter sido a menor entre os filmes (8 de 543). Observa-se também que o limiar 0,5 foi melhor para todos os filmes, independente das medidas de utilidade. Isto pode ser justificado pelo fato deste limiar agrupar os usuários que atribuíram notas em estrelas mais próximas dos valores da nota juiz. Adicionalmente, foi possível constatar que quanto mais se amplia o limiar, menos preciso se torna o modelo da RNA.

Tabela 3. Resultados das RNAs

Filme	Limiar	Quantidade de reviews	Acerto com utilidade	Acerto sem utilidade
Filme 1 (drama)	0,5	58	100%	100%
	1,0	122	77%	66%
	todos	433	79%	44%
Filme 2 (romance)	0,5	73	75%	82%
	1,0	125	53%	42%
	todos	442	51%	41%
Filme 3 (ficção científica)	0,5	70	96%	84%
	1,0	139	69%	50%
	todos	499	54%	50%
Filme 4 (ação)	0,5	136	84%	82%
	1,0	543	82%	82%
	todos	577	67%	71%
Filme 5 (aventura)	0,5	216	80%	79%
	1,0	596	74%	70%
	todos	630	65%	52%

Com o intuito de analisar qual a importância de cada medida para a predição das notas de usuários a filmes, os 2.581 *reviews* coletados foram utilizados, considerando as mesmas variações de medidas dos grupos 1 e 2, como entradas para a RNA. Vale ressaltar que no grupo 2 não foram utilizadas as medidas de utilidade (*utilN* e *utilS*). Verificando os resultados, foi possível perceber que a medida de menor importância no grupo 1 foi *qtdSentencas* (9,2%) e a medida de maior importância foi *utilN* (100%). No grupo 2, a medida de menor importância foi *qtdPadroes* (23%) e a medida de maior importância foi *qtdSentencas* (100%). Nota-se que *qtdSentencas* foi a medida de menor importância no grupo 1 e a medida de maior importância no grupo 2, isto pode ser justificado por uma possível perturbação causada pelas medidas de utilidade no modelo. A Figura 4 ilustra os resultados dos grupos 1 e 2.

Por fim, analisando os resultados das RNAs apenas para o grupo 2 e considerando os *reviews* de cada filme individualmente, foi possível também identificar as melhores topologias para cada limiar, a saber: i) limiar 0,5: a melhor topologia encontrada foi para o filme 1 utilizando 4 neurônios na camada escondida; ii) limiar 1,0: a melhor topologia encontrada foi para o filme 4 utilizando 1 neurônio na camada escondida; iii) limiar todos: a melhor topologia encontrada foi também para o filme 4 utilizando 1 neurônio na camada escondida. Os valores para os três limiares de cada filme não serão apresentados neste artigo por questão de espaço. Destaca-se ainda que a melhor topologia encontrada para a RNA usada na definição da importância das medidas foi com 2 neurônios na camada escondida.

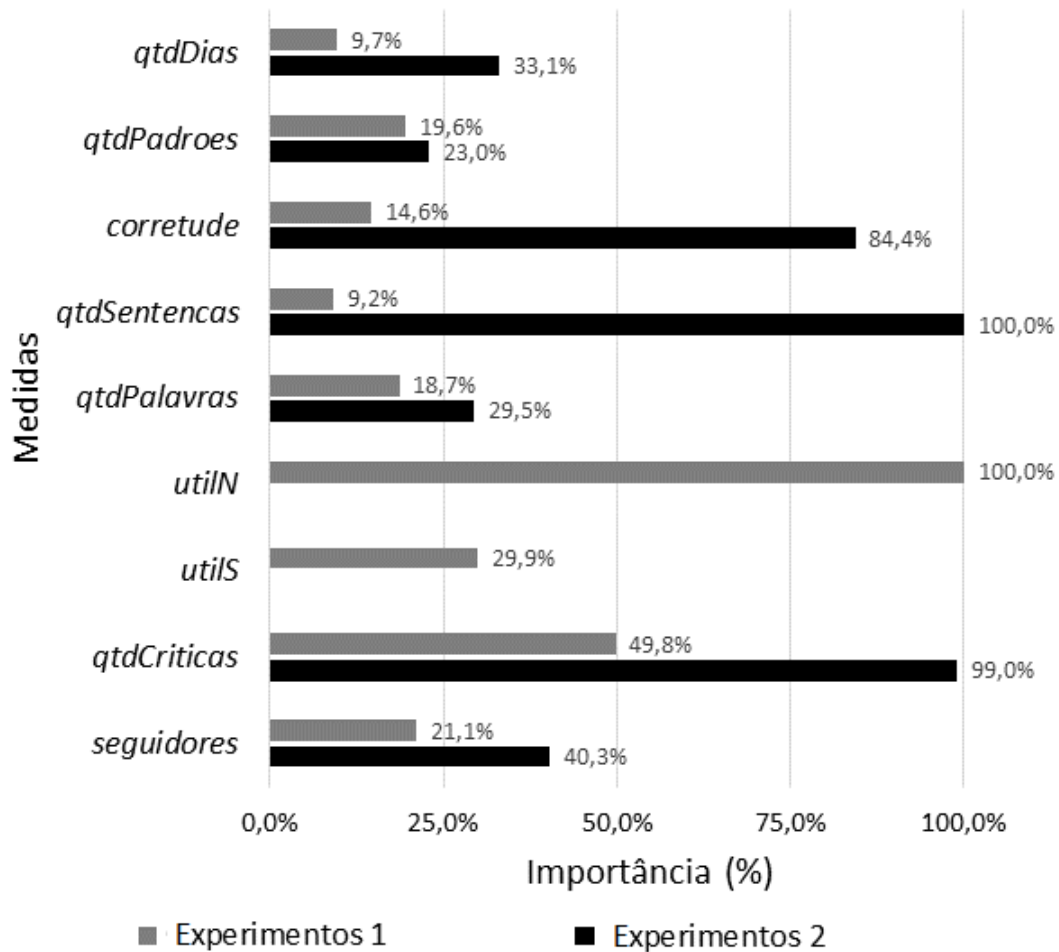


Figura 4. Importância das medidas dos *reviews*

5. Conclusão

Este trabalho apresentou um método automático para definir a importância das medidas obtidas a partir dos *reviews* para predição de notas de usuários aos filmes. Nossos resultados sugerem que as medidas de maior importância encontradas foram quantidade de sentenças, quantidade de críticas e a corretude. Observando os resultados obtidos das RNAs, foi possível perceber que o limiar 0,5 obteve melhor precisão entre os três limiares usados devido a maior proximidade de notas em estrelas dos *reviews* com a nota juiz.

Para trabalhos futuros, pretende-se: i) analisar o impacto dos padrões linguísticos usados no processo de classificação; ii) Adicionar mais palavras ao léxico, como neologismos e gírias comuns, a fim de melhorar a corretude das críticas, por exemplo, “filmaço” e “vilanesca”; iii) Tratar erros provocados por letras repetidas em palavras; e iv) Aplicar o método em outros domínios tais como: músicas, livros, dentre outros.

Referências

Barbosa, J. L. N., Moura, R. S., and de S. Santos, R. L. (2016). Predicting portuguese steam review helpfulness using artificial neural networks. In *Proceedings of the 22Nd Brazilian Symposium on Multimedia and the Web*, pages 287–293.

- da Silva, I. N., Spatti, D. H., and Flauzino, R. A. (2010). *Redes Neurais Artificiais: para engenharia e ciencias aplicadas*. Artliber.
- de S. Santos, R. L. (2017). Um estudo comparativo entre abordagens baseadas em sistemas fuzzy e redes neurais artificiais para estimar a importância de comentários sobre produtos e serviços. Master's thesis, Universidade Federal do Piauí, Teresina, PI.
- de S. Santos, R. L., Vieira, J. P. A., Barbosa, J. L. N., Sá, C. A., Moura, E. G., Moura, R. S., and de Sousa, R. F. (2016). Evaluating the importance of web comments through metrics extraction and opinion mining. In *Proceedings of the 35th International Conference of the Chilean Computer Science Society*, pages 153–163.
- Ganu, G., Kakodkar, Y., and Marian, A. (2013). Improving the quality of predictions using textual information in online user reviews. *Information Systems*, 38(1):1–15.
- IBM Corp. (2011a). IBM Knowledge Center Training (Multilayer Perceptron).
- IBM Corp. (2011b). *IBM SPSS Statistics for Windows, Version 20.0*. IBM Corp., Armonk, NY.
- Kim, S.-M., Pantel, P., Chklovski, T., and Pennacchiotti, M. (2006). Automatically assessing review helpfulness. In *Proceedings of the 2006 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing*, pages 423–430.
- Lee, S. and Choeh, J. Y. (2014). Predicting the helpfulness of online reviews using multilayer perceptron neural networks. *Expert Syst.Appl.*, 41(6):3041–3046.
- Liu, B. (2010). *Sentiment Analysis and Subjectivity*. Handbook of Natural Language Processing, Second Edition. CRC Press, Taylor and Francis Group.
- Schmit, W. and Wubben, S. (2015). Predicting ratings for new movie releases from twitter content. In *Proceedings of the 6th Workshop on Computational Approaches to Subjectivity, Sentiment and Social Media Analysis, WASSA@EMNLP 2015, 17 September 2015, Lisbon, Portugal*, pages 122–126.
- Turney, P. D. (2002). Thumbs up or thumbs down?: Semantic orientation applied to unsupervised classification of reviews. In *Proceedings of the 40th Annual Meeting on Association for Computational Linguistics*, pages 417–424.

Characterizing Crimes from Web

Márcio V. C. da Silveira¹, Wladimir C. Brandão¹

¹Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Belo Horizonte, Brasil

marcio.campos@outlook.com, wladimir@pucminas.br

Abstract. *Crime prevention requires the effective use of police resources, which demands the access of criminal information for planning security actions. The number of crime occurrences is higher than the official reported numbers. Many victims do not report crimes directly to the security agencies. Instead, they prefer to anonymously report using different channels, such as the Web. In this article, we introduce our approach to characterize crimes reported in the Web. Particularly, we collect criminal data from popular websites that store crime occurrences, and we use clustering analysis to discover crime patterns on the collected data. Applying our approach to a popular Brazilian crime report website, we observe that more than 41% of the crimes were not reported to the security agencies, and most of them are thefts and robberies occurring at night and dawn. In addition, minor offenses present different patterns of serious crimes. Moreover, crime patterns are different in rich and poor neighborhood.*

1. Introduction

Security is a worldwide concern. According to the article 3 of the Universal Declaration of Human Rights, everyone has the right to life, liberty and personal security. Particularly in Brazil, the constitution guarantees that public safety is a duty of the State [United Nations General Assembly 1948]. Crime prevention and control require the effective use of police resources. Thus, the knowledge on crime patterns is paramount for planning actions to avoid crimes.

The Bulletin of Occurrence (BO) is the official document used by the Brazilian security agencies to record a crime occurrence [Azevedo 2014]. However, many victims do not use it. According to the Brazilian national victimization survey [Secretaria Nacional de Segurança Pública - SENASP 2013], only 19.9% of crime occurrences are reported. In addition, the lack of trust in the police and the idea that the police could not do anything about the crime are the main reasons to not report crime occurrences. In many cases, the victims prefer to report the crime occurrence in websites or social networks. Thus, the number of crime occurrences is much higher than the reported in official statistics.

*Onde Fui Roubado*¹ is a website which manages a large criminal database with information on the most diverse types of crimes. If a person has been a victim or witnessed a crime, one can report the crime through the site itself. As the user must mark the location where the crime occurred, most of the registered cases have the latitude and longitude of the occurrence, as well as several relevant data about the nature of the crime, such as the value of the loss and the date and time the crime occurred.

¹<http://www.ondefuiroubado.com.br>

In this article, we introduce our crime characterization approach to characterize crimes reported in the Web. In particular, our approach collects crime occurrences from *Onde Fui Roubado*, and uses clustering analysis to discover crime patterns on the collected crime occurrences. Analytical results on a sample of crime occurrences show that we have eight groups of crime patterns, considering crimes occurred in the Brazilian city of Belo Horizonte, from January 1, 2012 to August 31, 2016. Additionally, we observe that two in each five crimes were not reported to the security agencies. Moreover, the crimes range from minor offenses, such as housebreaking and vehicle break-ins, to serious crimes such as kidnappings, but most of them are thefts and robberies occurring at night and dawn. The type and severity of the crimes depends mostly on the neighborhood and period of time, and victims report more serious crimes with great danger and financial losses and less minor offenses.

The remainder of this article is organized as follows: Section 2 describes the theoretical underpinnings of this article. Section 3 discusses the related work. Section 4 presents our approach used to capture and analyze criminal data from the Web. Section 5 presents the characterization of the crimes. Finally, Section 6 presents the conclusion and shows directions for future research.

2. Background

In this section we present concepts related to our approach for crime characterization, including Web crawling, classification and clustering techniques.

Web Crawling evolves collecting Web documents as quickly as possible to build a comprehensive body of documents that will be used later for indexing and searching [Levene and Poulouvassilis 2004]. Web crawlers are information retrieval system components that must request and store documents from web servers, extract links from documents, and schedule the next crawling step using the extracted links [Mylymaki 2002].

Classification is the task of automatically assign natural language texts to predefined categories based on their content [Hayes and Weinstein 1990]. Similarly, text categorization consists on identifying the main textual documents and associate them with one or more predefined categories. For this, we should determine in which categories, already classified previously, a certain attribute in question presents more similarity and can be considered of that class [da Silva Filho et al. 2010]. Categorized texts are represented as a class, in a more organized way, thus allowing a certain content to be accessed easily and without much effort.

Clustering is the process of class discovery, where objects are sorted into groups and classes are previously unknown [Malathi and Baboo 2011]. Clustering techniques are basically used to obtain data patterns while classification techniques are used to obtain the classes for future prediction [Sharma and Kumar 2013]. Clustering has as its basic principle the gathering of records that have similarities in a database, partitioning them into subsets, called clusters [Goldschmidt and Passos 2005]. In particular, a cluster is a collection of objects that are similar to each other within the same group and unequal to objects

in other groups [Zubi and Mahmud 2013]. In this way, the registers belonging to the same cluster have similarities between them and, at the same time, the objects belonging to different clusters have a high dissimilarity. Clustering only identifies similar data groups and does not have the pretension of classifying, estimating, or predicting the value of a variable [Camilo and da Silva 2009]. One of the most common clustering technique used by researchers is k -means, which consists on partitioning the objects into k clusters based on their similarities measured by a distance function [Han et al. 2011]. Although efficient, k -means has the limitation of working only with numeric values. The x -means extends k -means, with the advantage of estimating the best number of k groups from the dataset to be evaluated [Hartigan and Hartigan 1975]. The x -means algorithm overcomes the limitation of k -means and does not require to previously setup the number of clusters [Hamerly and Elkan 2004].

3. Related Work

The investigation on crime patterns and analysis of criminal data have been the focus of much research reported in the literature. They differ in terms of the data sources and the techniques used to analyze the data. [Singh et al. 2016] describe a system that analyzes crime records, increasing the accuracy of crime prediction. They consider different crime occurrences to accurately predict whether a similar crime pattern is observed. In their work, they analyze the geographic patterns of crimes and predict a particular type of crime that could occur in the near future. The data used in analysis were collected by a crawler from news feeds, blogs and articles on the Web. The prediction of the crime category is possible if one detect a similar pattern for an area where the occurrence of crimes is highly probable. The authors deliver the results in the form of a criminal category of a crime by which an effective measure can be deployed by police forces to protect the neighborhood. Also, when the criminal records were rich, they are able to predict the timeline for crimes.

The ARCA approach uses association rules to discover crime patterns from an official crime database provided by the Department of Social Defense of Minas Gerais, in Brazil [Laporais and Brandão 2014]. The dataset contains two years of Brazilian crime occurrences., and the approach recognizes mutual implications between crime occurrences, retrieving relevant information about criminal behavior. It processes and loads the data into a Data Warehouse (DW), filters, and extracts relevant data samples. Lastly, they use the *Apriori* algorithm to discover association rules on DW. The association rules discovered by ARCA were used to characterize criminal behavior, which pointed to patterns of nontrivial criminality that motivate further investigation.

[Zubi and Mahmud 2013] analyzes the Libyan crime occurrences using the k -means algorithm for data clustering and the *Apriori* algorithm for association rules. Their work is aimed to help the Libyan government making strategic decisions to address the increasing of criminal activities. Data were collected from the Libyan Police Department. These data were preprocessed to obtain clean and accurate records using preprocessing techniques, and used to uncover different crimes, tendencies and criminal behaviors that were grouped according to their attributes. For their work, more than 350 records were used. They have gained overall statistical knowledge of the criminal age in relation to the type of crime. According to the authors, the model aims to help the Libyan Security Committee to identify criminal behavior by specifying the types of offenses and relating them to criminal groups in Libya.

4. Crime Characterization Approach

In this article, we introduce our approach to characterize crimes from criminal records extracted from the Web. Figure 1 shows the components of our approach. First, the crawler component extracts raw criminal records from data sources in the Web, such as *Onde Fui Roubado*. Next, the filter component selects relevant criminal records, eliminating ambiguities and preparing the criminal features for clustering. Finally, the clustering component generates groups of crime patterns.

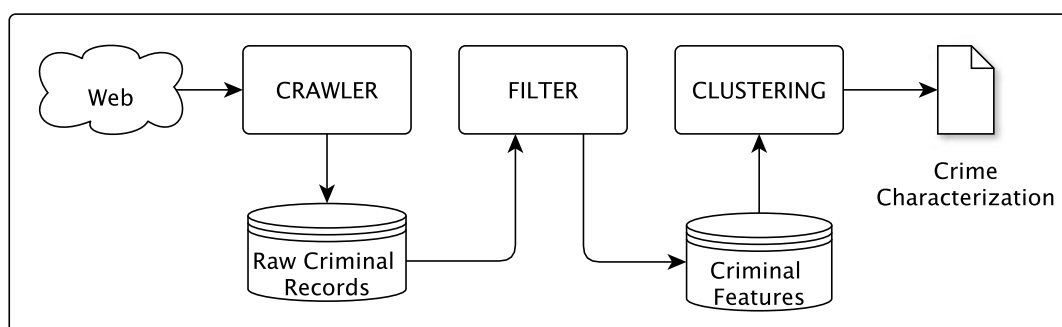


Figure 1. The workflow of our crime characterization approach

4.1. Crawling Criminal Records from Web

We extract criminal data from Web by crawling crime occurrences from data sources, such as *Onde Fui Roubado*. Particularly, we created a dataset of raw criminal records composed by 33,845 crime occurrences in big Brazilian cities, such as São Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte, Salvador, Porto Alegre, Fortaleza, and Curitiba. All the criminal records are from January 1, 2012 to August 31, 2016. The dataset contains different crime attributes. Table 1 shows these attributes, its description and data type.

Table 1. Dataset Attributes

Attribute	Description	Type
id	Internal ID of the crime record	int
description	Textual description of the crime	text
type_of_crime	Type of the crime	enum
city_id	City ID where the crime occurred	int
region	City region where the crime occurred	int
address	Address where the crime occurred	varchar
latitude	Latitude where the crime occurred	float
longitude	Longitude where the crime occurred	float
date_time_record	Date and time of the crime	datetime
gender	Gender of the victim	bit
loss_amount	Total loss of the victim	double
registered_bo	A flag informing if the victim reports the crime to security agencies	bit

From Table 1, we observe the *type_of_crime* attribute, which describes the type of the crime. Particularly, there are 11 types of crimes reported by the victims: assault, assault by groups, theft, robbery, housebreaking, store break-in, vehicle break-in, vehicle theft, “saidinha”², “arrastão”³, and “lightning kidnapping”⁴.

4.2. Filtering Criminal Features

The filter component prepares data for clustering. In particular, we select a sample of 5,268 criminal records of crimes in the Belo Horizonte city. We also select relevant features for the clustering procedures. Since our clustering algorithm only works with numeric data, we transform non-numerical features to numeric. No transformation was required for the *gender*, *registered_bo*, and *type_of_crime* attributes, since they are numerical. However, we have to define city regions based on the latitude and longitude attributes. According to [DETRAN-MG 2016], Belo Horizonte city is divided into nine regions. Additionally, each region is divided into neighborhoods. We use the Google Maps Geocoding API⁵ to map latitude and longitude to city regions. Table 2 shows the Belo Horizonte city regions, and the number and percentage of criminal records in each region.

Table 2. Number of crime records by region

City region	Number	Percentage
Barreiro	140	2.73%
Centro-Sul	2,421	47.27%
Leste	199	3.88%
Nordeste	435	8.50%
Noroeste	464	9.06%
Norte	144	2.81%
Oeste	559	10.91%
Pampulha	622	12.15%
Venda Nova	138	2.69%
Total	5,122	100.00%

From Table 2, we observe that some regions concentrate more criminal records than others. For example, the “Centro-Sul” region concentrates almost half of all the crimes reported in Belo Horizonte city, while the “Venda Nova” region concentrates less than 3% of the crimes. This behavior represents a socioeconomic bias, since the richer regions have more records than the poor ones.

Another required transformation was performed in the *loss_amount* attribute, which provides the estimated value, in Brazilian currency (R\$), of the victims’ losses. Based on the value of the minimum wage in Brazil, we define 10 level of losses. The level 1 consists of losses until one minimum wage (R\$ 880.00), the level 2 consists of losses between one minimum wage (R\$ 880.00) and two minimum wages (R\$ 1,760.00),

²A type of attack in which the thief stalks the victim waiting for him to leave the bank with cash withdraw from the ATM to carry out the robbery.

³A type of attack in which groups of thieves assault groups of people in waves.

⁴A type of attack in which the victim is forced to visit banks and withdraw money for the kidnappers.

⁵<http://developers.google.com/maps/documentation/geocoding>.

and so on until the level 10, which consists of losses greater than ten minimum wages (R\$ 8,880.00).

We also performed transformations in the *date_time_record* attribute. In particular, we divided the day into 4 periods: morning, afternoon, night and dawn. Table 3 shows the schedule we used to determine the periods of the day.

Table 3. Periods of time

Period	Schedule
Morning	06:00:00 to 11:59:59
Afternoon	12:00:00 to 17:59:59
Night	18:00:00 to 23:59:59
Dawn	00:00:00 to 05:59:59

4.3. Clustering Crime Patterns

The clustering component uses the *x*-mean clustering algorithm implemented in the Weka package [WEKA 2016], which is very popular between researchers. It contains tools for data processing, regression, clustering, association rules, and data visualization. Particularly, we run and test the performance of the clustering algorithm over our dataset, using six features: region, level of loss, type of crime, gender, recorded BO and the period of the day of crimes.

Preliminary experiments show that without using a predefined number of clusters, the algorithm tends to focus on only two features: gender and recorded BO. We have decided to remove these two features for the creation of the clusters. The features were maintained for analysis, but were not considered by the clustering algorithm. Moreover, one of the variables that can be defined in the execution of *x*-means is the minimum and maximum number of clusters that it will generate. In order to obtain a larger number of clusters we defined the minimum number of clusters to ten. However, the algorithm itself returned us eight clusters, demonstrating that this is the number of relevant relationships that it was able to find.

5. Crime Characterization

In this section we present our throughout characterization of crimes based on our proposed approach. Particularly, we present and discuss the clusters generated by the clustering component we used to analyze the criminal features we crawled from Web. Table 4 shows the number and percentage of criminal records in each generated cluster. From Table 4 we observe that the clustering component generated eight clusters with different number of criminal records. In the following, we present the properties of each generated cluster:

Cluster 1 - Afternoons thefts and robberies: Mostly composed by crimes occurred in the Barreiro region, but there are also crimes occurred in the Leste and Nordeste regions. More than 92% of the crimes caused victims' losses of up to 3 minimum wages, more than 57% of the victims are men, and more than 47% of victims did not reported the crimes to security agencies. All the crimes are thefts or robberies occurred in the afternoon.

Table 4. Number of criminal records by cluster

Cluster	# records	Percentage
1	699	13.65%
2	462	9.02%
3	432	8.43%
4	600	11.71%
5	361	7.05%
6	862	16.83%
7	1,226	23.94%
8	480	9.37%
Total	5,122	100.00%

Cluster 2 - Night and dawn vehicle break-ins and assaults: Mostly composed by crimes occurred in the Centro-Sul region. More than 76% of the crimes are vehicular break-ins, and more than 51% of all assaults occurrences are concentrated in this cluster. More than 80% of the victims are men, and more than 47% of victims did not reported the crimes to security agencies. The crimes occurred exclusively during the night and dawn.

Cluster 3 - Mornings assaults by groups: The crimes occurred in the Barreiro, Centro-Sul, Leste and Nordeste regions. The crimes caused victims' losses from 1 to 7 minimum wages, more than 50% of the crimes occurred in the morning, and more than 30% of the crimes are assaults made by groups.

Cluster 4 - Daylight poor neighborhood crimes: Mostly composed by crimes occurred in the Noroeste, Norte, Oeste, Pampulha and Venda Nova regions. The crimes caused victims' losses of up to 4 minimum wages. The crimes are diverse, some serious as "lightning kidnapping". More than 56% of the victims are men, and more than 43% of victims did not reported the crimes to security agencies. All the crimes occurred in the morning and afternoon.

Cluster 5 - Afternoons and nights *saidinha* and *arrastão*: There are no predominant regions. The crimes caused victims' losses of up to 6 minimum wages. More than 94% of "saidinha" occurrences, and more than 86% of "arrastão" occurrences are concentrated in this cluster. More than 63% of the victims are men, and more than 47% of victims did not reported the crimes to security agencies. More than 77% of the crimes occurred in the afternoon and night.

Cluster 6 - Night and dawn crimes in Pampulha: Mostly composed by crimes occurred in Pampulha region. Crimes varies from thefts, robberies, and store break-ins, and caused victims' losses of up to 6 minimum wages. More than 57% of the victims are men, and more than 42% of victims did not reported the crimes to security agencies. All the crimes occurred at night and dawn.

Cluster 7 - Moonlight rich neighborhood crimes: Mostly composed by crimes occurred in the Centro-Sul, Barreiro, and Nordeste regions. Crimes varies from thefts, robberies, and assaults, and caused victims' losses of up to 7 minimum wages. More than 62% of the victims are men, and more than 47% of victims did not reported the crimes to security agencies. All the crimes occurred at night and dawn.

Cluster 8 - Great danger and financial loss crimes: More than 48% of the crimes occurred in Centro-Sul and Pampulha regions. The crimes caused severe danger and victims' losses greater than 8 minimum wages, which is justified by the fact that more than 44% of all vehicle thefts and "lightning kidnappings" is here. More than 75% of the victims are men, and only 11% of victims did not reported the crimes to security agencies.

6. Conclusions

In this article we introduced our crime characterization approach to characterize crimes reported in the Web. Particularly, our approach extracts raw criminal records from crime data sources in the Web, filters criminal features and performs clustering analysis to discover crime patterns.

We used our approach to characterize crimes in Belo Horizonte, a big city in Brazil, from 2012 to 2016. From analytical results, we observe that crimes range from minor offenses to serious crimes and the type and severity of them depends mostly on the neighborhood and period of time. In addition, we observed that victims tend to report more serious crimes with great danger and financial losses, and less minor offenses. Moreover, serious crimes occur at night and down in rich neighborhoods and at morning and afternoon in poor neighborhoods.

Our analysis show that the proposed approach can be effectively used by security forces to plan actions for crime prevention. Thus, they can address the problem of lack of trust in the police, creating a relationship of collaboration and effective participation of society in the fight against crime.

As future work we intent to expand our analysis to other cities and countries. In addition, we intent to evaluate the performance of other clustering techniques, such as hierarchical clustering. Moreover, we intent to integrate data from other crime data sources from Web, such as WikiCrimes and social networks. With these changes, we believe that it will be possible to incorporate crime prediction modeling into our approach.

Acknowledgments

The authors are thankful for the partial support given by the Pontifical Catholic University of Minas Gerais (Grant PUCMINAS-FIP 2016/11086-S2), MCTI/CNPq (Grant 444156/2014-3), FAPEMIG/PRONEX (Grant APQ-01400-14), and the authors' individual grants and scholarships from CNPq.

References

Azevedo, S. N. d. (2014). *O protesto de títulos e outros documentos de dívida*. EdiPUC-RS, 2 edition.

- Camilo, C. O. and da Silva, J. C. (2009). *Mineração de dados: Conceitos, tarefas, métodos e ferramentas*. Technical report, Universidade Federal de Goiás (UFG).
- da Silva Filho, L. A., Favero, E. L., Dias, M. M., and de Mendonca, C. K. L. (2010). Mining association rules in data and text - an application in public security. In *Proceedings of the 7th International Conference on Information Systems and Technology Management*, pages 3644–3672.
- DETRAN-MG (2016). Lista de regiões e bairros de Belo Horizonte. Available in: <https://www.detran.mg.gov.br/habilitacao/cnh-e-permissao-para-dirigir/solicitar-renovacao-da-cnh/consulta-lista-de-regioes-e-bairros-de-belo-horizonte>. Access in: Oct 7, 2016.
- Goldschmidt, R. and Passos, E. (2005). *Data mining: um guia prático, conceitos, técnicas, ferramentas, orientações e aplicações*. Campus, 1 edition.
- Hamerly, G. and Elkan, C. (2004). Learning the k in k-means. In *Proceedings of the 16th Annual Conference on Neural Information Processing Systems*, pages 281–288.
- Han, J., Pei, J., and Kamber, M. (2011). *Data mining: concepts and techniques*. Elsevier, 3 edition.
- Hartigan, J. A. and Hartigan, J. (1975). *Clustering algorithms*. Wiley New York.
- Hayes, P. J. and Weinstein, S. P. (1990). CONSTRUE/TIS: A system for content-based indexing of a database of news stories. In *Proceedings of the 2nd Annual Conference on Innovative Applications of Artificial Intelligence*, pages 49–64.
- Laporais, B. and Brandão, W. C. (2014). ARCA: Mining crime patterns using association rules. In *Proceedings of the IADIS International Conference Applied Computing*, pages 159–166.
- Levene, M. and Poulouvassilis, A. (2004). *Web dynamics: Adapting to change in content, size, topology and use*. Springer Science & Business Media, 3 edition.
- Malathi, A. and Baboo (2011). Algorithmic crime prediction model based on the analysis of crime clusters. *Global Journal of Computer Science and Technology*, 11(11):139–145.
- Myllymaki, J. (2002). Effective Web data extraction with standard XML technologies. *Computer Networks*, 39(5):635–644.
- Secretaria Nacional de Segurança Pública - SENASP (2013). Pesquisa nacional de vitimização. Available in: http://www.crisp.ufmg.br/wp-content/uploads/2013/10/Relat%C3%B3rio-PNV-Senasp_final.pdf. Access in: May 7, 2016.
- Sharma, A. and Kumar, R. (2013). The obligatory of an algorithm for matching and predicting crime - using data mining techniques. *International Journal of Scientific and Engineering Research*, 4(2):289–292.
- Singh, A. K., Prasad, N., Narkhede, N., and Mehta, S. (2016). Crime: Classification and pattern prediction. *International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology*, 3(2):41–43.

- United Nations General Assembly (1948). Universal Declaration of Human Rights. Available in: http://www.ohchr.org/EN/UDHR/Documents/UDHR_Translations/eng.pdf. Access in: May 7, 2016.
- WEKA (2016). The university of waikato. weka 3: Data mining software in java. Available in: <http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka>. Access in: May 9, 2016.
- Zubi, Z. S. and Mahmud, A. A. (2013). Using data mining techniques to analyze crime patterns in the libyan national crime data. In *Proceedings of the 1st WSEAS International Conference on Image Processing and Pattern Recognition*, page 79–85.

Construção e Análise das Redes Sociais de Personagens dos Filmes da Franquia *O Senhor dos Anéis*

Victoria Patrícia Aires, Paulo Rodrigo Martins, Fabiola Nakamura

Instituto de Computação – Universidade Federal do Amazonas (UFAM)
69077-000 – Manaus – AM – Brasil

{vpsa, prom, fabiola}@icomput.ufam.edu.br

Abstract. *This article focuses on character networks, which are social networks that presents complex network properties. The strategy to build the network of characters of a movie is using the same script, that contains information such as the beginning of a scene, the characters that appear and dialogues. Usually, algorithms to build the social network considers only characters who have speeches in scene. In this paper, we present a methodology that also considers the characters that were quoted or just appear in the scene. We use the Lord of the Rings franchise to apply the methodology, building and analysing the character networks, answering who are the protagonists according to three centrality measures: weighted degree, betweenness and PageRank.*

Resumo. *Este artigo tem como foco as redes de personagens, que são um tipo de rede social, apresentando propriedades de redes complexas. Para construir a rede de personagens de um filme, uma estratégia é usar o script do mesmo, que contém informações como o início de uma cena, os personagens que aparecem e diálogos. Em geral, a construção da rede social leva em conta apenas os personagens que possuem falas em cada cena. Neste trabalho, apresentamos uma metodologia que leva em consideração também personagens citados ou que apenas aparecem nas cenas. Utilizamos os filmes da franquia O Senhor dos Anéis para a aplicação da metodologia, construindo a rede de personagens e posteriormente analisando, respondendo quem são os protagonistas de acordo com três medidas de centralidade: grau ponderado, intermediação e PageRank.*

1. Introdução

Redes sociais são redes que modelam relacionamentos e interações sociais, tais como amizades, trabalho e colaboração em artigos. Neste contexto, existem as redes de personagens, um tipo particular de rede social. Elas representam os relacionamentos entre personagens de um filme. Sendo um tipo de rede social, elas possuem características de redes complexas, como atributos de mundo pequeno (*small world*), comunidades bem definidas e distribuição desigual de grau [Bonato et al. 2016]. Além disso, possuem a particularidade de refletir o enredo do filme, ao tornar explícitas as conexões entre personagens, destacando núcleos formados ao longo da história através de suas comunidades. Estas redes encontram correlações com situações no mundo real, como a representação de uma rede de criminosos, uma rede de políticos, ou outras situações onde existem relacionamentos documentados que possuem dinamicidade e evolução temporal [Spadon et al. 2016].

Na literatura, existem trabalhos que extraem redes sociais de personagens de obras literárias e cinematográficas. No caso específico dos filmes, a extração é feita a partir

do *script* do filme. O site *Movie Galaxies* [Kaminski et al. 2012] contém redes sociais extraídas de diversos filmes. Porém, a extração é feita observando apenas os personagens que falam em cada cena. Assim, personagens importantes, mas que não possuem falas, não são representados na rede social e o resultado final pode não ser uma modelagem adequada.

Neste trabalho, o objetivo é propor uma metodologia para construção de redes de personagens de filmes, dados o *script* e a lista de personagens. Esta construção leva em conta os personagens que dialogam nas cenas ou apareceram, porém sem falar. Desta forma, é possível construir uma rede de personagens mais abrangente, incluindo personagens sem falas (como animais e robôs, por exemplo). Aplicamos a estratégia aos três filmes da franquia *O Senhor dos Anéis* e também à trilogia como um todo, e após análise, responde-se quem são os protagonistas do filme de acordo com as medidas de centralidade (grau, intermediação e *PageRank*). A franquia *O Senhor dos Anéis* foi escolhida devido à estrutura de seu enredo, uma jornada onde as interações e influência dos personagens mudam através dos filmes. Acreditamos que, devido a esta dinamicidade, é interessante analisar de que forma os filmes são modelados em redes complexas e verificar o quanto estas redes refletem o enredo dos filmes.

As principais contribuições deste trabalho são: apresentação de uma metodologia para extração da rede social de personagens de filmes, utilizando o *script* e a lista de personagens do mesmo. Diferente de outros trabalhos presentes na literatura, esta metodologia leva em consideração tanto personagens que possuem falas quanto os que são apenas citados ou aparecem em uma cena. Ao final, a metodologia é aplicada aos três filmes da franquia *O Senhor dos Anéis* para construção das redes de personagens e posterior análise por meio de medidas de centralidade em redes complexas, revelando quem são os personagens protagonistas de cada filme e da trilogia como um todo.

O restante do artigo está organizado da seguinte forma: a Seção 2 apresenta uma visão geral dos trabalhos relacionados. A Seção 3 aponta como foi feita a modelagem das redes de personagens. A Seção 4 traz as métricas utilizadas durante o trabalho. Já a Seção 5 contém os resultados obtidos e, por fim, a Seção 6 traz as considerações finais, seguida das referências.

2. Trabalhos Relacionados

Esta seção sumariza alguns trabalhos que realizam extração de redes de personagens de filmes. Eles se diferenciam principalmente pela técnica utilizada, envolvendo conceitos de aprendizagem de máquina, reconhecimento facial e expressões regulares.

Em [Park et al. 2012] o foco está em construir a rede de personagens levando em conta aqueles que falam em cada cena e classificá-los quanto a papéis principais, secundários e extras. É realizada a sincronização entre o *script* do filme e as legendas. O lado positivo desta abordagem está no uso da centralidade de grau (*degree centrality*) para classificar os personagens em papéis. O lado negativo é que alguns foram incorretamente classificados, até mesmo personagens importantes, pois o contexto dos diálogos e ações não é levado em conta, o que acabou causando uma falha no método.

O trabalho de [Weng et al. 2007] também é baseado em papéis (*roles*). A rede social de papéis é usada para identificar comunidades e detectar suas relações com o enredo.

São usadas técnicas de reconhecimento facial para determinar os nós (roles) da rede. O cenário escolhido compreende apenas filmes bilaterais, geralmente com comunidades que representam o bem e o mal. São identificados nós determinantes (*leading roles*) na rede de papéis através de medidas de centralidade de grau. Então, determina-se as comunidades que circundam cada uma das *leading roles*. O artigo possui certo viés, uma vez que analisa apenas filmes bilaterais, com uma estrutura praticamente pré-determinada. Por exemplo, filmes que contam com o lado do bem e do mal bem definidos, onde o caráter dos personagens é explícito. Além disso, a detecção de cenas e reconhecimento facial foram feitas manualmente, sendo assim inapropriadas ao presente contexto.

Já em [Agarwal et al. 2014], a estratégia é receber um script e assinalar à cada linha uma tag indicando se a mesma é o início de uma cena, uma descrição de cena, o nome de um personagem, um diálogo ou um meta-dado sobre o script. Isto é utilizado para a construção da rede social de personagens de um filme. A abordagem escolhida é aplicar uma técnica de aprendizagem de máquina para realizar esta marcação no script, comparando com o método de expressões regulares. A rede foi construída ao adicionar um link a dois personagens que aparecem em uma mesma cena. Esta técnica não leva em conta personagens que foram apenas citados ou não possuem falas, o que pode levar a uma representação incorreta da importância de um personagem. Outro problema está no fato de personagens aparecerem no script com apelidos ou pseudônimos. Estes pontos serão tratados no presente trabalho.

3. Modelagem da Rede

Uma rede social é uma espécie de *rede complexa*. Estas redes possuem as seguintes características [Shen 2013]:

- A distribuição de grau dos vértices é desigual e segue a *lei de potência*: há muitos vértices de grau pequeno, e poucos vértices com muitas conexões. Isto faz com que a importância (ou centralidade) dos vértices varie na rede.
- Existe a propriedade *small-world* (mundo pequeno): a distância entre quaisquer dois vértices na rede é pequena em relação ao número total de vértices e arestas total.
- Há estrutura de comunidades bem definida: alguns elementos são mais conectados entre si do que com outros na rede, formando agrupamentos ou *clusters*.

No contexto de redes sociais, que modelam interações sociais entre um grupo de indivíduos, estas características podem indicar quais os indivíduos mais influentes na rede; o quanto duas pessoas que não se conhecem estão próximas; e quais os indivíduos associados, direta ou indiretamente, por meio de interesses em comum ou similaridades entre si.

A extração da rede social de cada filme tem como base o *script* ou *screenplay* do mesmo. Um script contém a descrição de cada cena, bem como os personagens que aparecem e as falas daqueles que se manifestam nela. Estas informações estão dispostas seguindo um formato semi-regular, permitindo o uso de um programa baseado em expressões regulares para extrair os dados necessários para a construção da rede social. A Figura 1 apresenta um exemplo de uma cena em um script.

Neste trabalho, fazemos uso do script e da lista de personagens do filme para compor a rede social de personagens. Para a execução dos experimentos, foram utiliza-

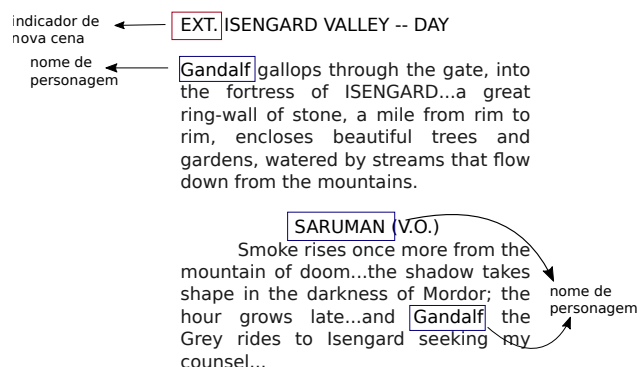


Figura 1. Trecho de um script do filme *A Sociedade do Anel*. Em destaque, a marcação EXT, indicadora de início de cena, além dos personagens que falam ou estão sendo mencionados.

dos scripts da franquia *O Senhor dos Anéis*, obtidos do site *IMSDb* [IMSDb 2017], que disponibiliza os roteiros de um grande número de filmes. Neste contexto, foi utilizada a lista de personagens de cada filme da franquia, obtida do site *IMDb* [IMDb 2017], que cataloga grande parte da produção cinematográfica mundial. Em resumo, a lógica é procurar uma nova cena, e acrescentar arestas entre os personagens que aparecem (ou foram citados) nela. Caso já exista aresta, o peso da mesma é incrementado.

Algoritmo 1: Parser para extração da rede de personagens de filmes

Entrada: Script e lista de personagens do filme.

Saída: Rede social de personagens.

Dados: cenaAtual

início

cenaAtual ← ∅;

para cada linha do script **faça**

se linha começa com INT|EXT **então**

 //se existe uma cena anterior, adicionar relações

para cada personagem p em cenaAtual **faça**

para cada personagem q em cenaAtual **faça**

se p / q **então**

 adiciona aresta entre p e q (ou incrementa o peso da aresta existente);

fim se

fim para cada

fim para cada

 //prepara o conjunto para nova cena

 cenaAtual ← ∅;

fim se

senão

para cada personagem na lista de personagens **faça**

se personagem aparece na linha & personagem ∉ cenaAtual **então**

 cenaAtual ← cenaAtual + {personagem};

fim se

fim para cada

fim se

fim para cada

fim

4. Medidas de Centralidade

Para analisar as redes sociais de cada filme como redes complexas, são aplicadas medidas de centralidade. Estas respondem quem são os nós principais ou mais influentes da rede, cada uma seguindo um critério específico. As medidas escolhidas para análise neste trabalho são [Perra and Fortunato 2008]:

- Centralidade de grau ponderado (*weighted degree centrality*): considera que os nós de maior grau são mais centrais. O grau de um vértice é a soma dos pesos das arestas a que ele está conectado. No contexto deste trabalho, considera que os personagens mais importantes são os que possuem mais interações com os demais.
- Centralidade de intermediação (*betweenness centrality*): indica o número de vezes que um vértice está no caminho mínimo entre dois outros vértices quaisquer na rede. Isso significa que a importância aumenta conforme ele funciona como ponte para conectar outros vértices na rede. Assim, um personagem é mais central quando conecta personagens de diversos núcleos diferentes da história.
- Centralidade de PageRank (*PageRank centrality*): considera o número e a qualidade de conexões de um vértice para determinar a importância do mesmo. Vértices mais importantes são os que recebem mais conexões de outros vértices importantes. No caso dos filmes, os personagens centrais interagem com personagens importantes na história.

5. Resultados Obtidos

Para realizar os experimentos da estratégia proposta, foram feitos testes utilizando o software Gephi [Gephi 2017], que calcula as medidas de centralidade e permite a modelagem visual dos grafos que representam as redes e implementação em Python 3 para o *parser* do script. As redes de personagens construídas foram as dos três filmes da franquia *O Senhor dos Anéis*: *A Sociedade do Anel*, *As Duas Torres* e *O Retorno do Rei*. Além disso, foi construída uma quarta rede de personagens, representando os três filmes. A franquia *O Senhor dos Anéis* foi escolhida devido à dinamicidade do enredo: os personagens iniciam uma caminhada juntos no primeiro filme, separam-se em diferentes enredos no segundo e, por fim, juntam-se no último filme. Também é interessante o fato dos personagens adquirirem importâncias diferentes no decorrer dos três filmes, devido aos enredos em que se envolvem.

A história de *Senhor dos Anéis* conta a saga de vários habitantes de um mundo fictício denominado Terra Média, que está sob ameaça de um poderoso mago chamado Sauron, o Senhor dos Anéis. Sauron criou um anel muito poderoso, o Anel do Poder, capaz de prover a seu mestre o domínio completo sobre os outros seres deste mundo. Porém, Sauron não detém o anel, que está em posse de Frodo, um hobbit (um ser semelhante aos humanos, porém de estatura muito menor).

Os resultados levam em conta apelidos e pseudônimos que aparecem durante a história: por exemplo, o personagem Aragorn é chamado, durante parte dos filmes, de Passolargo. Samwise, Meriadoc e Peregrin são os nomes próprios dos personagens Sam, Merry e Pippin, que são chamados pelos apelidos durante a maior parte dos filmes. Há um caso especial: o personagem Gollum era chamado no passado de Smeagol, e o personagem sofre um distúrbio de personalidade, em uma luta interna entre Gollum e Smeagol. Pelo fato de um dialogar com o outro, mantivemos os vértices Gollum e Smeagol como

distintos. Além disso, o fato do vilão Sauron não possuir uma forma corpórea e, deste modo, não possuir falas, não o impede de ser representado na rede social, pois ele é citado por outros personagens. Esta é uma fraqueza encontrada em outros trabalhos, que incluem apenas personagens com fala explícita e não levam em consideração apelidos e nomes próprios, criando vértices excedentes.

5.1. A Sociedade do Anel

No primeiro filme da saga, Frodo inicia sua caminhada em direção a Mordor, o lugar onde o Anel do Poder de Sauron foi feito e o único onde pode ser destruído. Em sua companhia, vão seus melhores amigos, Sam, Merry e Pippin (todos hobbits), além de Gandalf (um mago), Legolas (um elfo), Gimli (um anão), Aragorn (chamado também de Passolargo, um homem) e Boromir (também homem). Juntos, estes personagens formam a Sociedade do Anel. Observa-se nas redes construídas que a interação entre os personagens da Sociedade do Anel é de fato muito forte.

Há três comunidades identificadas, representadas através das cores dos vértices na Figura 2. Cada uma representa uma parte do enredo do filme, com destaque para a comunidade em laranja, contendo quase toda a Sociedade do Anel e outros hobbits. A comunidade em roxo inclui personagens do núcleo de Valfenda e Lórien (elfos), o vilão Sauron e outros relacionados à história do anel, como a criatura Gollum, que possuiu o anel por muitos anos. Já a comunidade em verde destaca os membros da sociedade do anel mais envolvidos em batalha: Boromir, Legolas e Gimli, que lutaram contra os orcs Uruk-Hai, liderados pelo mago Saruman e o orc Lurtz. As medidas de centralidade foram utilizadas para classificar os personagens do modo apresentado na Tabela 1.

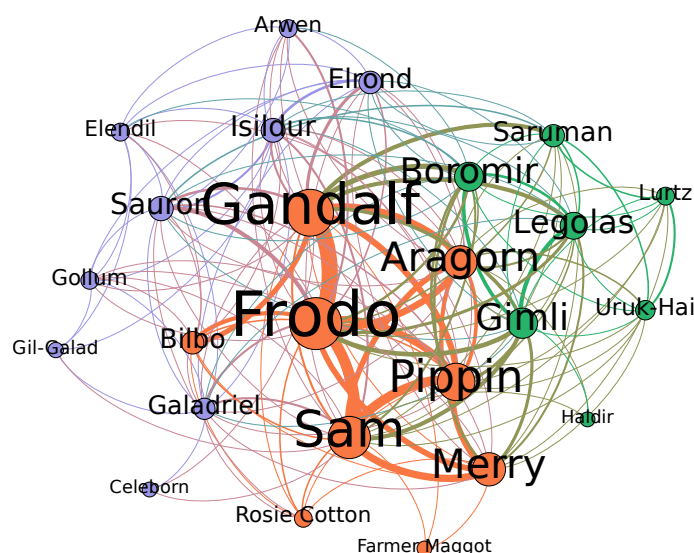


Figura 2. Rede de personagens de A Sociedade do Anel classificadas de acordo com a centralidade de grau ponderado.

Analisando os resultados da Tabela 1, verificamos que segundo o grau ponderado e PageRank, os personagens Frodo, Gandalf e Sam são os principais destaques. Isto significa que estes personagens possuem alto número de conexões. Além disto, estes personagens estão conectados com outros de grande importância. Isto faz sentido, pois são os três personagens principais da Sociedade do Anel, interagindo com outros personagens

Tabela 1. Classificação de personagens segundo as medidas de centralidade aplicadas à rede social do filme A Sociedade do Anel.

Personagem	Grau ponderado	Personagem	Betweenness	Personagem	PageRank
Frodo	148.0	Sam	0.15485	Frodo	0.11629
Gandalf	128.0	Gandalf	0.05249	Gandalf	0.10391
Sam	110.0	Galadriel	0.04168	Sam	0.09349
Pippin	91.0	Merry	0.03906	Pippin	0.07268
Merry	75.0	Aragorn	0.03271	Merry	0.06273
Aragorn	75.0	Isildur	0.02399	Aragorn	0.06272
Gimli	63.0	Pippin	0.02365	Gimli	0.05347
Boromir	58.0	Frodo	0.02365	Boromir	0.04917
Legolas	50.0	Gimli	0.02012	Legolas	0.04274
Sauron	40.0	Sauron	0.01667	Sauron	0.03696

importantes do mesmo núcleo. Outra observação interessante é o fato de Sam possuir o maior betweenness: isto significa que ele é um personagem intermediador de núcleos. Podemos perceber isto na história ao verificar que Sam é a ponte de conexão entre os demais hobbits comuns e o núcleo de Frodo. Gandalf e Galadriel também conectam núcleos diferentes: o dos hobbits com o de Valfenda e Lórien, respectivamente, núcleos de elfos. Assim, podemos considerar como protagonistas Frodo, Gandalf e Sam.

5.2. As Duas Torres

No segundo filme, Frodo e Sam decidem prosseguir sozinhos, encontrando depois Gollum, um ser interessado no anel. Enquanto isso, Merry e Pippin são sequestrados. Legolas, Gimli e Aragorn vão para o reino de Rohan. Lá, conhecem Theoden (o rei) e Eowyn (sobrinha do rei). Neste filme, o mago Saruman, aliado de Sauron, inicia um ataque a Rohan, enviando seu exército de Uruk-Hai (orcs). O rei Theoden defende o reino contando com a ajuda de Aragorn, Gandalf, Gimli e Legolas.

A rede social do filme, representada na Figura 3, possui três comunidades bem definidas e relacionadas ao roteiro. A comunidade em laranja mostra o núcleo de Frodo, Sam e Gollum em sua caminhada para Mordor. Em roxo, encontram-se os personagens em Rohan. Em verde, o núcleo de Merry e Pippin, que estavam próximos ao antagonista Saruman.

Tabela 2. Classificação de personagens segundo as medidas de centralidade aplicadas à rede social do filme As Duas Torres.

Personagens	Grau ponderado	Personagens	Betweenness	Personagens	PageRank
Aragorn	112.0	Saruman	0.14261	Aragorn	0.08583
Sam	81.0	Aragorn	0.11561	Sam	0.06013
Theoden	77.0	Uruk-Hai	0.09188	Theoden	0.05938
Legolas	66.0	Sauron	0.07877	Saruman	0.05065
Frodo	64.0	Sam	0.05352	Legolas	0.04994
Gimli	62.0	Gandalf	0.04741	Gimli	0.04803
Saruman	59.0	Gimli	0.03791	Uruk-Hai	0.04778
Uruk-Hai	56.0	Theoden	0.03789	Frodo	0.04759
Gandalf	55.0	Faramir	0.02659	Gandalf	0.04316
Gollum	40.0	Legolas	0.01770	Sauron	0.03304

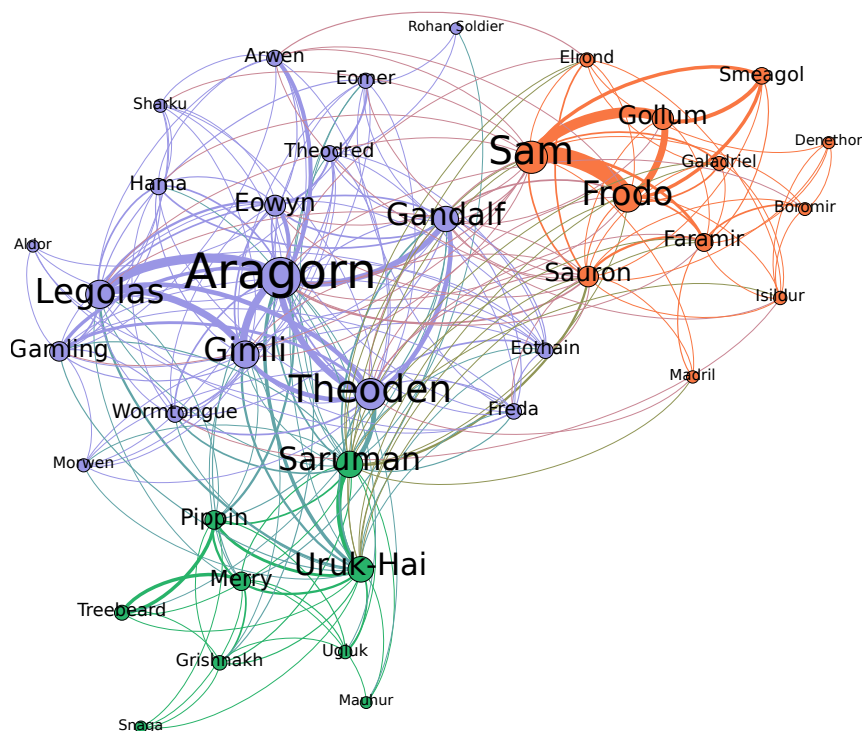


Figura 3. Rede de personagens de As Duas Torres classificadas de acordo com a centralidade de grau ponderado.

A classificação de acordo com as medidas de centralidade, presente na Tabela 2, mostra que Aragorn, Sam e Theoden são os personagens com maiores valores de centralidade segundo grau ponderado e PageRank. Neste filme, os núcleos de maior destaque são os da batalha do reino de Rohan e o de Frodo e Sam caminhando para Mordor. Desta forma, faz sentido que os personagens principais façam parte destes núcleos, onde estão presentes outros personagens importantes como Legolas e Gimli. Um fato interessante é Sam obter destaque maior que Frodo. Embora estejam caminhando juntos, neste filme há um número maior de cenas envolvendo apenas Sam e Gollum, justificando a interação mais intensa entre os dois personagens capturada pela rede social.

A pontuação de betweenness indica que Saruman é o personagem intermediador. Mais uma vez, isto é equivalente ao roteiro, pois este personagem age em favor de Sauron, sendo responsável pela batalha em Rohan. Assim, ele conecta núcleos importantes: o de Isengard e o de Rohan. Pelo mesmo motivo, os Uruk-Hai (exército de Sauron) aparecem em terceiro. Aragorn em segundo lugar indica seu papel de intermediador entre os personagens da realeza de Rohan, os remanescentes da Sociedade do Anel e os de Valfenda. Por fim, podemos considerar como protagonistas Aragorn, Sam e Theoden.

5.3. O Retorno do Rei

No último filme acontece a batalha pelo anel e pela proteção do reino de Gondor, do qual Aragorn se mostra herdeiro ao trono. Merry e Pippin participam de núcleos diferentes. Aragorn, Legolas, Gimli e Gandalf possuem papel importante na guerra. Enquanto isso, Frodo, Sam e Gollum chegam a Mordor, onde o anel é finalmente destruído, para a derrota de Sauron.

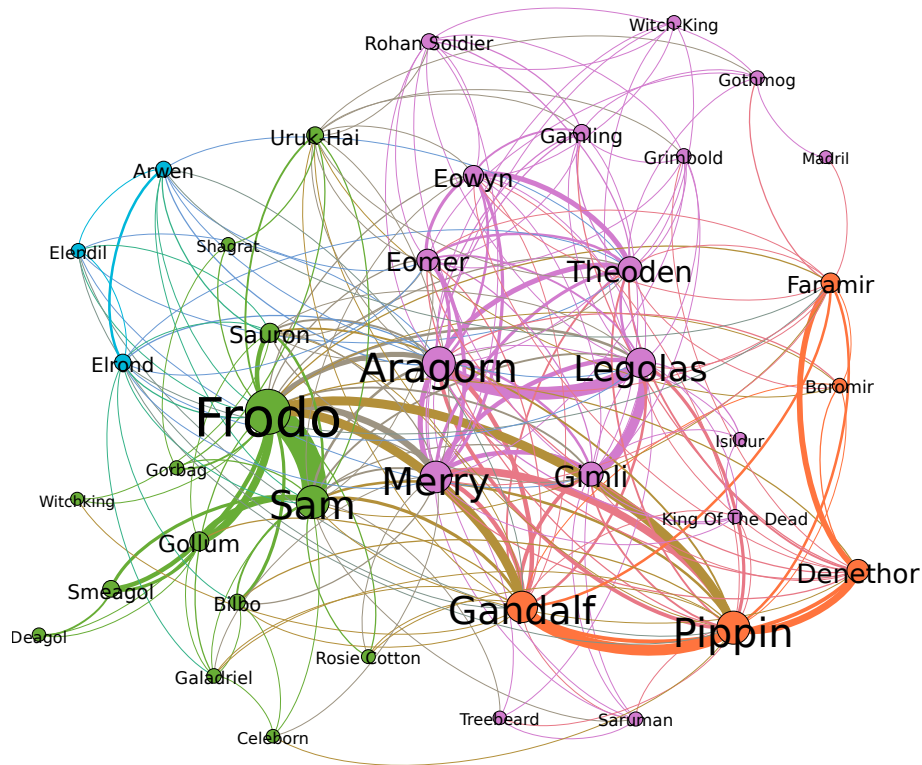


Figura 4. Rede de personagens de O Retorno do Rei classificados de acordo com a centralidade de grau ponderado.

A Figura 4 apresenta a rede social do filme, com os vértices classificados de acordo com a centralidade de grau. Desta vez, foram identificadas quatro comunidades: em azul, os personagens do núcleo dos elfos em Valfenda. Em verde, os personagens relacionados à Mordor e o anel. Em laranja, o núcleo do regente de Gondor, Denethor, envolvendo Gandalf e Pippin. Em roxo, os personagens que lutaram na batalha de Gondor, com destaque para Aragorn, Merry, Legolas e Gimli.

Tabela 3. Classificação de personagens segundo as medidas de centralidade aplicadas à rede social do filme O Retorno do Rei.

Personagens	Grau ponderado	Personagens	Betweenness	Personagens	PageRank
Frodo	153.0	Frodo	0.18196	Frodo	0.10697
Aragorn	97.0	Merry	0.08323	Aragorn	0.06769
Pippin	97.0	Sam	0.07273	Sam	0.06721
Sam	96.0	Gandalf	0.06315	Pippin	0.06680
Merry	90.0	Aragorn	0.05734	Merry	0.06325
Gandalf	89.0	Faramir	0.05321	Gandalf	0.06149
Legolas	80.0	Pippin	0.05310	Legolas	0.05638
Theoden	55.0	Legolas	0.05137	Theoden	0.04088
Gimli	54.0	Uruk-Hai	0.03941	Gimli	0.03877
Denethor	46.0	Theoden	0.03511	Denethor	0.03360

A Tabela 3 mostra a classificação dos personagens de acordo com as medidas de centralidade. Observa-se que Frodo foi o personagem que obteve maior pontuação nas três. Este é um fato interessante, pois diferente dos outros dois filmes, Frodo é o perso-

nagem com maior número de conexões (e com mais qualidade) e o intermediador. Há uma correlação com o enredo, pois neste filme, Frodo é altamente citado pelos personagens envolvidos na batalha de Gondor. Assim, ele conecta os núcleos de Mordor e Rohan/Gondor, e simultaneamente, adquire muitas conexões.

Aragorn teve alta classificação em duas métricas, assim como Sam. Aragorn tem papel de liderança na batalha de Gondor, interagindo com diversos personagens. Sam, por sua vez, é fundamental no núcleo de Mordor, auxiliando Frodo a destruir o Anel. Desta forma, as medidas indicam que Frodo, Aragorn e Sam são os protagonistas da história. É interessante observar que outros personagens como Pippin e Merry também obtiveram pontuações parecidas, o que corresponde à participação dos mesmos no filme. Cada um destes personagens possui um papel chave em seus determinados pontos da história.

5.4. A Trilogia Completa

A rede social que reúne os três filmes é apresentada na Figura 5. Esta rede foi construída ao unir em uma única rede as obtidas de cada filme individualmente. Nesta rede social, percebemos três comunidades. A comunidade em roxo é composta pelos personagens do núcleo das guerras de Rohan e Gondor. Em verde, personagens envolvidos na questão do regente de Gondor, que se recusava a sair do trono e tomou Pippin como um servo. Em laranja, o núcleo do anel, incluindo Frodo, Sam, Gollum e o vilão Sauron.

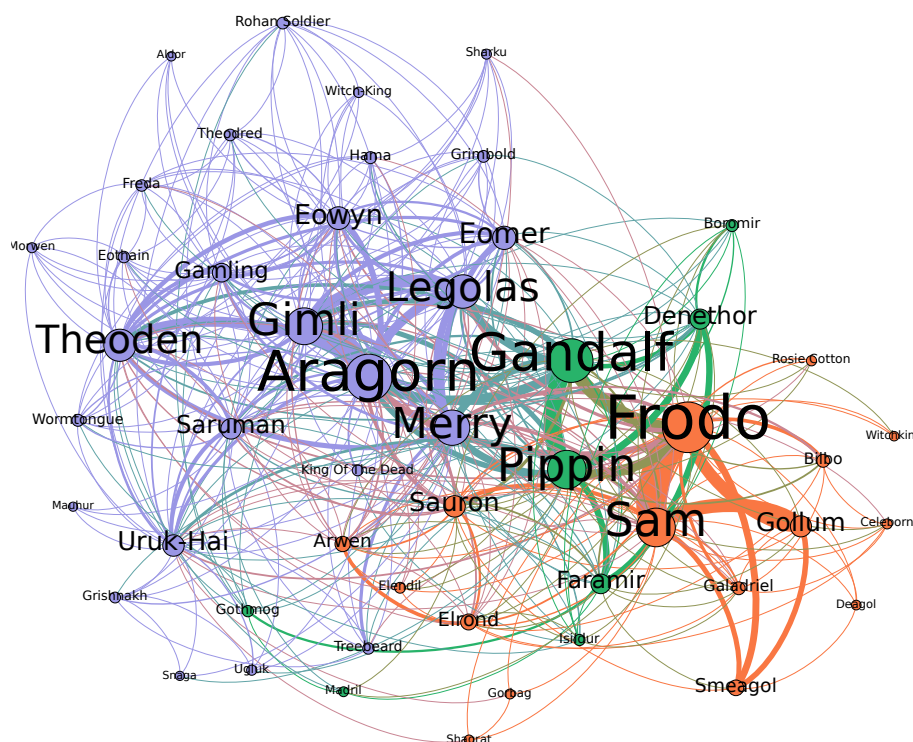


Figura 5. Rede de personagens da trilogia completa de O Senhor dos Aneis classificados de acordo com a centralidade de grau ponderado.

A classificação geral dos personagens na trilogia é exibida na Tabela 4. Os resultados indicam que os personagens Frodo, Aragorn e Gandalf são os protagonistas da história. Sam teve a maior pontuação em intermediação, devido à seu papel de ponte, conectando personagens de diferentes núcleos. Ele também obteve boas pontuações

nas outras duas métricas, podendo ser considerado também um dos protagonistas. Esta classificação é condizente com a história dos três filmes: Frodo e Sam, os responsáveis pela destruição do anel; Aragorn, o rei; e Gandalf, o mago que possui papel de líder. É interessante observar que o fato de Sam ter se destacado é uma informação relevante e não esperada, pois durante grande parte das cenas, apesar de Sam estar presente, o foco é sempre Frodo. No entanto, as medidas indicam que o personagem também possui protagonismo na história.

Tabela 4. Classificação de personagens segundo as medidas de centralidade aplicadas à rede social da trilogia O Senhor dos Anéis.

Personagens	Grau ponderado	Personagens	Betweenness	Personagens	PageRank
Frodo	254.0	Sam	0.08574	Frodo	0.07530
Aragorn	232.0	Uruk-Hai	0.07858	Aragorn	0.07099
Gandalf	212.0	Frodo	0.07234	Gandalf	0.06271
Sam	182.0	Aragorn	0.07179	Sam	0.05479
Pippin	181.0	Merry	0.06798	Pippin	0.05434
Gimli	171.0	Gandalf	0.06624	Gimli	0.05223
Merry	162.0	Theoden	0.0455	Merry	0.05172
Legolas	151.0	Gimli	0.04192	Theoden	0.04613
Theoden	143.0	Saruman	0.03919	Legolas	0.04567
Eomer	89.0	Pippin	0.03681	Uruk-Hai	0.02996

6. Considerações finais

Neste trabalho, introduzimos uma proposta para construção das redes sociais de personagens de um filme, e aplicamos especificamente nos três filmes da franquia O Senhor dos Anéis. A construção foi feita utilizando o script dos filmes, e considerando a participação de personagens que aparecem ou foram citados nas cenas com o auxílio da lista de personagens dos mesmos.

Após a construção das redes sociais, foi feita análise através de três medidas de centralidade: grau ponderado, intermediação e PageRank. Cada medida classifica os personagens que considera mais importantes de acordo com um critério específico. O objetivo foi verificar, segundo as métricas, quem são os protagonistas do filme e se a rede social obtida, bem como as comunidades identificadas e os personagens mais influentes são condizentes com o enredo do filme.

A classificação obtida das três medidas de centralidade aponta os personagens mais centrais na rede social de cada filme. Em *A Sociedade do Anel*, os protagonistas são Frodo, Sam e Gandalf. Em *As Duas Torres*, os destaques são Aragorn, Theoden e Sam. Já em *O Retorno do Rei*, Frodo, Aragorn e Sam são os personagens mais influentes. Ao analisar os três filmes em conjunto, Frodo, Sam, Aragorn e Gandalf são os protagonistas apontados pelas medidas de centralidade.

Os resultados obtidos são condizentes com a história de cada filme, inclusive quando analisada a trilogia como um todo. As comunidades detectadas refletem também parte do roteiro, destacando núcleos que estão presentes na história. Desta forma, acreditamos que a abordagem escolhida é adequada para a modelagem da rede de personagens e pode ser aplicada a outros filmes. Como trabalhos futuros, pretendemos aplicar a técnica a filmes de outros gêneros e verificar se os vértices centrais de acordo com as medidas

de centralidade são de fato os protagonistas, e se há alguma relação entre as redes sociais construídas a partir de filmes do mesmo gênero.

Referências

- Agarwal, A., Balasubramanian, S., Zheng, J., and Dash, S. (2014). Parsing screenplays for extracting social networks from movies. *EACL 2014*, pages 50–58.
- Bonato, A., D’Angelo, D. R., Elenberg, E. R., Gleich, D. F., and Hou, Y. (2016). Mining and modeling character networks. *Algorithms and Models for the Web Graph*, pages 100–114.
- Gephi (2017). Open graph viz platform. Disponível em: <https://gephi.org/>. Acessado em: 02/2017.
- IMDb (2017). Internet movie database (imdb). Disponível em: <http://www.imdb.com/>. Acessado em: 02/2017.
- IMSDb (2017). Internet movie script database (imsdb). Disponível em: <http://www.imsdb.com/>. Acessado em: 02/2017.
- Kaminski, J., Schober, M., Albaladejo, R., Zastupailo, O., and Hidalgo, C. (2012). Moviegalaxies - social networks in movies.
- Park, S.-B., Oh, K.-J., and Jo, G.-S. (2012). Social network analysis in a movie using character-net. *Multimedia Tools and Applications*, 59(2):601–627.
- Perra, N. and Fortunato, S. (2008). Spectral centrality measures in complex networks. *Physical Review E*, 78(3):036107.
- Shen, H.-W. (2013). *Community structure of complex networks*. Springer Science & Business Media.
- Spadon, G., Scabora, L. C., Araujo, M. V. S., Oliveira, P. H., Machado, B. B., de Sousa, E. P. M., Jr., C. T., and Jr., J. F. R. (2016). Complex network tools to understand the behavior of criminality in urban areas. *CoRR*, abs/1612.06115.
- Weng, C.-Y., Chu, W.-T., and Wu, J.-L. (2007). Movie analysis based on roles’ social network. In *Multimedia and Expo, 2007 IEEE International Conference on*, pages 1403–1406. IEEE.

Comparação de Técnicas de Predição de Links em Sub-redes de Coautoria Formada por Currículos da Plataforma Lattes

Douglas V. Santos¹, Thiago C. Cunha¹, Antônio B. O. Silva²,
Fernando S. Parreiras¹, Orlando A. Gomes¹

¹Laboratório de Sistemas de Informação Avançados (LAIS)
Universidade FUMEC – Belo Horizonte – MG

²IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
Belo Horizonte – MG

orlando.gomes@fumec.br

Abstract. *The study of Lattes platform allows addressing and analyzing Brazil researchers network which could be useful for defining politics to improve science, technology, and innovation. This work evaluated Lattes Platform co-authorship network. This network evolves over time, which means that new co-authorships will arise in future. Therefore, using link prediction methods in this network would help to identify growing knowledge areas in Brazil. The used techniques were Spectral Evolution, wich is new in this context, Common Neighbors, Adamic-Adar and Jaccard. The main goal was to evaluate the link prediction accuracy with different methods at the coauthorship network of Lattes Platform. The Spectral Evolution was worse than the others. Adamic-Adar method presented the best result – 817 times better than the random link prediction.*

Keywords: *Link Prediction, Co-authorship, Spectral Evolution*

Resumo. *O estudo da plataforma Lattes permite mapear e analisar a rede de pesquisadores no Brasil, o qual pode ser relevante para a adoção de políticas de incentivo ao progresso em ciência, tecnologia e inovação. Neste trabalho foi investigada a rede de coautoria da plataforma Lattes. Essa rede de coautoria evolui temporalmente, ou seja, novas colaborações entre pesquisadores surgem ao longo do tempo. Portanto, empregando-se técnicas de predição de links nessa rede, pode-se prever o crescimento de novas áreas de conhecimento no Brasil. As técnicas analisadas foram Evolução Espectral, uso inédito nesse contexto, Vizinhos Comuns, Adamic-Adar e Jaccard. O objetivo principal foi analisar e avaliar a eficácia desses métodos de predição de links na rede de coautoria da plataforma Lattes. A performance da Evolução Espectral foi inferior às outras técnicas. O melhor resultado obtido foi do método Adamic-Adar – 817 vezes superior à predição aleatória.*

Palavras-chave: *Predição de Links, Redes de Coautoria, Evolução Espectral.*

1. Introdução

A coautoria de artigos é uma das formas tangíveis e documentadas de colaboração científica. Vários aspectos da colaboração científica podem ser investigados por meio de análise de redes de coautoria, empregando-se a metodologia de análise de redes

sociais [Newman 2004, Barabási et al. 2002, Da Silva et al. 2012, Brandão et al. 2007, Parreiras et al. 2006, Liu et al. 2005]. Avaliar as redes de pesquisadores é uma atividade relevante para a adoção de políticas de incentivo ao progresso em ciência, tecnologia e inovação, pois permite o mapeamento e a mensuração das áreas de conhecimento no Brasil.

As redes de coautoria têm os vértices (nós) como os autores dos artigos analisados e as arestas (links) são as coautorias dos mesmos [Barabási and Albert 1999]. É natural supor que as redes evoluam no tempo. Considerando um instantâneo de uma rede de coautoria científica, por exemplo, a predição de links é uma ferramenta que possibilita, em um momento posterior a esse instantâneo, a recomendação de uma nova parceria entre cientistas dessa rede. A predição de links é desafiadora, pois a rede que surge desse processo, usualmente, é esparsa, gerando uma grande dificuldade em encontrar os mais prováveis candidatos a serem os próximos links da rede analisada [Getoor and Diehl 2005].

Neste contexto, emerge a seguinte questão de pesquisa: Qual é a precisão das técnicas existentes de predição de link na rede de coautoria formada pelos currículos da plataforma Lattes?

A rede escolhida para este trabalho foi construída a partir dos dados estruturados dos currículos dos pesquisadores da Plataforma Lattes.¹ Nesses currículos, encontram-se informações que foram usadas para a construção das redes de coautoria. Trata-se de uma rede composta por pesquisadores e o problema de pesquisa é avaliar qual técnica de predição de novos links tem a melhor precisão na rede de coautoria. Para tal, foram desenvolvidos softwares para realizar o cálculo da predição em que cada um se baseia na técnica escolhida. As técnicas avaliadas foram: Evolução Espectral [Kunegis et al. 2010], Vizinhos Comuns [Newman 2001], Adamic-Adar [Adamic and Adar 2003] e Jaccard [Liben-Nowell and Kleinberg 2007]. É importante ressaltar que a técnica de Evolução Espectral [Kunegis et al. 2010] ainda não foi utilizada para realizar predições de links na plataforma Lattes. As técnicas de predição de links investigadas nesse trabalho utilizam como informação para a previsão de um novo link entre dois autores somente a configuração da rede de coautoria no passado. Colaborações em projetos de pesquisa, orientações, participação em bancas, dentre outros, podem influenciar na formação de uma nova coautoria. Enfatiza-se que, ao desconsiderar estas informações, procura-se evidenciar novas coautorias que não são facilmente previsíveis por essas informações dos autores. Por exemplo, espera-se que orientador e orientado sejam coautores em uma publicação no futuro.

Este trabalho está organizado da seguinte forma: A Seção 2 apresenta a fundamentação teórica e uma análise dos trabalhos relacionados. A Seção 3 descreve a comparação entre as técnicas de predição de links. A análise dos resultados é descrita na Seção 4. A Seção 5 apresenta as conclusões.

¹<http://lattes.cnpq.br>

2. Fundamentação Teórica

Redes estão em todos os lugares. Os participantes das redes são os seus “nós” ou “vértices”. No caso das redes sociais, os participantes são, normalmente, denominados atores e podem ser individuais (uma pessoa) ou coletivos (uma organização ou coletividade). O laço relacional, ou simplesmente laço ou link, é responsável por estabelecer a ligação entre pares de atores. No caso das redes de coautoria, o link se dá pela existência de um trabalho científico produzido pelos dois autores.

Em seu trabalho, Liben-Nowell e Kleinberg (2007) apresentaram uma análise do desempenho de técnicas de predição de links. Ao avaliar a técnica de predição aleatória, que foi utilizada nesse trabalho como referência, observou-se uma assertividade muito pequena. Uma maneira de realizar esse experimento é considerar uma rede fictícia com o mesmo número de nós de uma rede real. Por uma simulação computacional, é possível prever onde surgirá o próximo link. Possuindo o resultado da simulação, verifica-se a precisão da técnica. O desempenho ficou abaixo de 0,5%, ou seja, 99,5% dos links aleatórios não corresponderam aos links reais. Liben-Nowell e Kleinberg (2007) testaram outras técnicas para avaliar o desempenho na predição de links considerando redes de coautoria. Dentre elas, encontram-se as técnicas baseadas no conjunto de todos os caminhos, como uma medida para a soma dos caminhos entre dois nós e, exponencialmente, exhibe a medida ponderada pelo número de caminhos mais curtos para interligá-los. Essa medida exponencial indicaria entre quais nós existe a maior probabilidade de surgir uma conexão [Liben-Nowell and Kleinberg 2007].

Newman (2001) identificou uma relação entre a quantidade de conexões em comum entre dois nós quaisquer e a probabilidade de haver uma conexão entre esses dois nós. A métrica acabou denominada “Vizinhos Comuns” (CN, Common Neighbors)[Newman 2001]. Segundo Barabási *et al.* (2002), a seleção de nós seria guiada pela anexação preferencial. Esse princípio afirma que a possibilidade de conexões é maior para nós que possuam um grau elevado [Barabási et al. 2002]. Segundo Perez-Cervantes *et al.* (2013), o coeficiente de Jaccard é uma normalização dos Vizinhos Comuns [Perez-Cervantes et al. 2013]. Liben-Nowell e Kleinberg (2007) afirmam que essa é uma técnica utilizada como métrica de similaridade na ciência da informação, desde sua definição em 1983 [Liben-Nowell and Kleinberg 2007]. O coeficiente é calculado dividindo a interseção dos dois conjuntos pela união dos mesmos [Digiampietri et al. 2015]. Adamic e Adar (2003) definiram uma métrica para calcular a similaridade de páginas na internet [Adamic and Adar 2003]. Posteriormente, ela passou a ser utilizada no estudo de redes sociais. Ela é referenciada em trabalhos como índice Adamic-Adar (AA), como visto em Lü e Zhou (2011) e Liben-Nowell e Kleinberg (2007) [Lü and Zhou 2011, Liben-Nowell and Kleinberg 2007].

Na predição de links, o grau de separação entre os nós é um dificultador [Papadimitriou et al. 2011]. Quando o grau de separação é maior que dois, a tarefa de se prever links torna-se complexa. Métodos de predição baseados em vizinhança comum utilizam a característica de interligação dos nós, o que pode negligenciar as conexões de grau maior que dois.

Geralmente, as redes crescem pela adição de nós e interconexões à sua estrutura ao longo do tempo. Para Kunegis *et al.* (2010), a rede, no início de sua construção, evolui em várias direções e se fossem traduzir a evolução em espaços vetoriais, esses estariam representando bases de subespaços. Quando a rede torna-se complexa, contendo milhares ou, até mesmo, milhões de nós e links, o subespaço vetorial representando a direção do crescimento da rede permanece aproximadamente constante. Na decomposição das matrizes de adjacência que representam a rede objeto de análise em cada momento do tempo, nota-se que os autovalores variam enquanto os autovetores permanecem aproximadamente constantes [Kunegis et al. 2010].

O desempenho de técnicas de predição de links já foram avaliados em redes de coautoria brasileiras por vários pesquisadores. Brandão e Moro (2012) estudaram uma rede com 169 nós extraída da Ciência Brasil.² A avaliação da técnica denominada Affin é baseada no princípio da homofilia. O princípio da homofilia, segundo os autores, procura pesos nas características externas à rede e como essas influenciam o surgimento de colaborações. As características consideradas foram afiliação institucional e proximidade social. O acerto na previsão do surgimento de colaborações atingiu 2% [Brandão and Moro 2012]. Digiampietri *et al.* (2012) asseveram que os currículos da Plataforma Lattes são uma fonte de informação para criação e análise de redes sociais de pesquisadores.

Mena-Chalco, Junior e Marcondes (2009) desenvolveram uma ferramenta de exploração de dados dos currículos da Plataforma Lattes: o Script Lattes. Essa ferramenta, desenvolvida em linguagem de programação Python, oferece uma gama de recursos para obter informações consolidadas dos currículos [Mena-Chalco et al. 2009]. Luna, Revoredo e Cozman (2013) aplicam as técnicas de predição de links avaliadas por Liben-Nowell e Kleinberg (2003) em sub-redes originadas dos currículos cadastrados na Plataforma Lattes. Esses autores consideraram informações ontológicas na predição de links. Por exemplo, orientador e orientado, em um futuro próximo, têm grandes chances de publicar um trabalho em colaboração, o qual é denominado de ontologia probabilística. O desempenho de acerto das conexões chegou a 93,9% [Luna et al. 2013, Liben-Nowell and Kleinberg 2007].

Em uma rede construída a partir da Plataforma Lattes, Perez-Cervantes *et al.* (2013) identificaram os nós influentes no surgimento de colaborações utilizando as técnicas de predição de links avaliadas por Liben-Nowell e Kleinberg (2003) [Perez-Cervantes et al. 2013, Liben-Nowell and Kleinberg 2007]. Digiampietri, Santiago e Alves (2012) analisaram 657 pesquisadores cadastrados na Plataforma Lattes. Por meio do que chamaram de análise de classes, consideraram atributos comuns nos currículos para proporem futuras colaborações. Uma ressalva é que o método não conseguiu prever colaborações inéditas, aquelas que demonstram uma produção de trabalho em conjunto pela primeira vez; as colaborações futuras foram indicadas entre colaboradores já parceiros na produção de trabalhos. A taxa de acerto foi superior a

²<http://pbct.inweb.org.br/cienciabrasil/>

94% [Digiampietri et al. 2012].

Maruyama e Digiampietri (2016) apresentaram um método de predição de links da plataforma Lattes utilizando-se de técnicas de inteligência artificial [Maruyama and Digiampietri 2016]. Os resultados mostraram que a acurácia obtida não foi superior à determinada para o caso no qual não há novos links na predição. Zhang (2017) realizou a predição de links em uma rede de coautoria que foi obtida no site “Web of Science” da Thomson Reuters. A técnica utilizada baseia-se em preditores com múltiplas relações no escopo de machine learning. Os melhores resultados apresentam uma precisão de 42,5% [Zhang 2017].

Neste trabalho, subconjuntos da rede de coautoria da plataforma Lattes serão analisados pela técnica de predição de links denominada de Evolução Espectral a qual é comparada com a predição de links aleatória e as técnicas Vizinhos Comuns, Adamic-Adar e Jaccard, bem como com trabalhos relacionados. É importante ressaltar que a predição de links por meio da Evolução Espectral ainda não foi utilizada na rede de coautoria da plataforma Lattes.

3. Comparação de técnicas de predição de links

O Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) é o detentor da Plataforma Lattes que é destinada ao registro e à disponibilização dos dados sobre progresso acadêmico dos pesquisadores de todas áreas do conhecimento, sejam esses doutores, mestres, graduados, ou técnicos de nível médio.³ O acesso aos dados acadêmicos dos pesquisadores cadastrados na Plataforma Lattes é livre. O ID Lattes, que é composto por 16 dígitos numéricos e pode ser utilizado para isolar o acesso a um único currículo na plataforma Lattes, é um facilitador para buscar os dados no sítio da Plataforma⁴ [Mena-Chalco et al. 2014].

O número de currículos na Plataforma Lattes é da ordem de milhões, sendo que a maioria é composta por currículos incompletos ou de pesquisadores que nunca escreveram um artigo científico em modo de colaboração. Para filtrar esses currículos, grupos de pesquisas foram selecionados considerando pesquisadores cadastrados que apresentam o título de doutor em seu currículo. A máquina de busca da Plataforma Lattes possui sistemas de filtros que permitem isolar um grupo de pesquisadores para ser retornado como resultado de uma pesquisa. O primeiro grupo de pesquisadores a ser retornado foi o de Bolsistas de Produtividade do CNPq. Os outros dois grupos seguiram o mesmo critério, trocando-se as características do filtro relacionado à área da ciência. O segundo grupo foi o de doutores que definiram sua área do conhecimento como Engenharias. O terceiro grupo foi o de doutores que definiram sua área do conhecimento como Ciências Exatas e da Terra. As informações sobre o número de nós (N) e links (L) de cada grupo até o ano de 2013, bem como o número de links gerados em 2013 (ΔL), encontram-se na Tabela 1. O objetivo do isolamento das áreas é presumir que, de acordo com Parreiras *et al.* (2006), esses grupos possam ser as sub-redes em que a ocorrência de produções científicas em colaborações seja de grau elevado em relação ao âmbito da rede

³<http://cnpq.br>

⁴<http://buscatextual.cnpq.br/buscatextual/busca.do?metodo=apresentar>

[Parreiras et al. 2006].

Tabela 1. Caracterização das sub-redes Lattes

<i>Subconjunto Lattes</i>	<i>N</i>	<i>L</i>	ΔL
<i>CNPq</i>	13.790	140.014	10.955
<i>Engenharias</i>	21.619	70.421	1.521
<i>Exatas</i>	31.646	193.882	6.230

N = Número de nós até 2013, L = Número de links até 2013 e ΔL = Número de links gerados em 2013.

Os arquivos dos currículos dos pesquisadores da Plataforma Lattes foram gerados em formato simples para extração de dados dos mesmos, o XML (eXtensible Markup Language). Os currículos contêm todas as informações referentes ao progresso acadêmico dos pesquisadores e as descrições dos artigos científicos produzidos em conjunto. As informações estão todas estruturadas, o que facilitou a tarefa de construção da rede de coautoria por meio da linguagem de programação Python.

3.1. A construção das matrizes de adjacência das redes de Coautoria

Possuindo os currículos agrupados, parte-se para a construção das redes. Os nós das redes são os donos dos currículos, cada um com sua identificação definida pelo ID Lattes. As interligações entre os nós são as indicações da existência da coautoria na produção de artigos científicos publicados em jornais, revistas ou anais de congressos da comunidade científica. Apesar de os currículos estarem estruturados em formato XML, é necessário limpar os dados e encontrar a estratégia para definir como a coautoria pode estar ocorrendo. O fluxograma que serviu de base para a lógica de programação encontra-se na Figura 1.

O programa tem início realizando a leitura da seleção de currículos XML. Ao ler os currículos, são filtrados os nomes dos autores que representam os donos dos currículos. Esse filtro é utilizado para que seja aplicada uma “limpeza” nas palavras que compõem os nomes (retiram-se acentos, vírgulas e caracteres especiais). Estando limpos, os nomes são organizados em uma lista e os IDs Lattes de cada um são localizados nos currículos. O critério de selecionar os currículos de doutores foi aplicado. Os currículos válidos são submetidos a uma filtragem de seus IDs Lattes e as informações sobre os artigos publicados analisadas.

A primeira etapa da análise das informações dos artigos busca verificar se o ano de publicação corresponde ao intervalo definido para obter a matriz de adjacência. Estando no intervalo, é necessário saber quais são os autores e os coautores dos artigos. A informação do autor foi obtida, pois esse é o dono do currículo. Todas as informações dos nomes dos autores, coautores e IDs Lattes são carregados em uma lista. Por fim, chega-se ao momento em que as informações das listas obtidas podem ser cruzadas para gerar as matrizes de adjacência. Os nomes em referências bibliográficas são conhecidos assim como, os IDs Lattes e as relações de coautoria. O pesquisador, ao cadastrar o currículo na

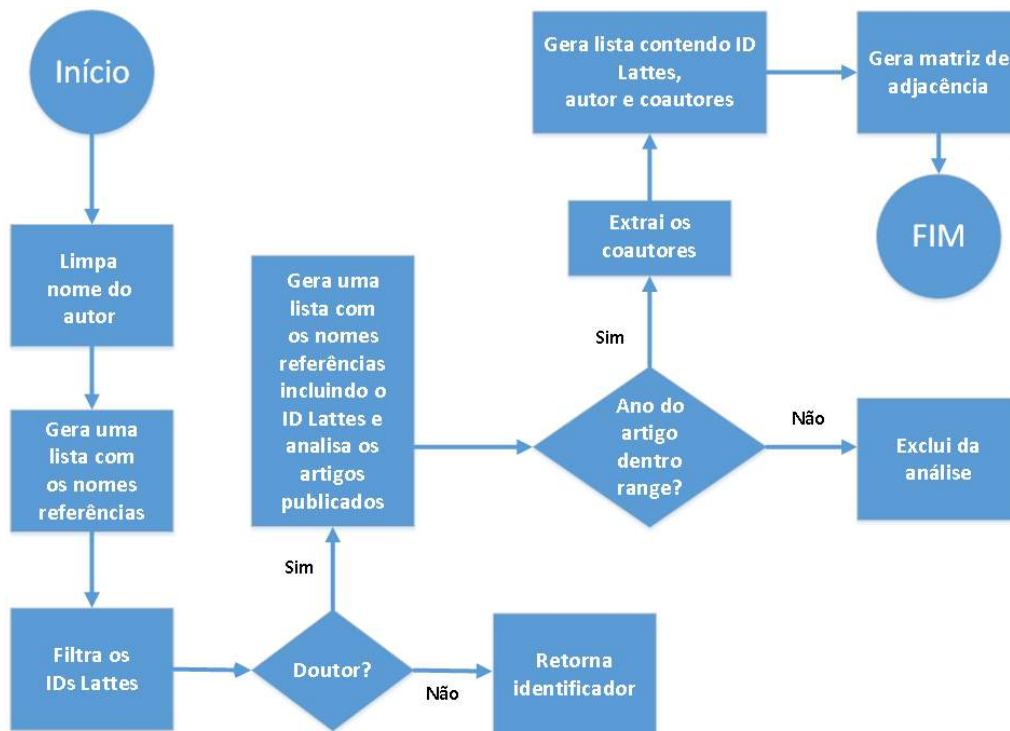


Figura 1. Fluxograma do programa gerador das Matrizes de Adjacência

Plataforma Lattes, pode escolher a maneira conveniente para ser nomeado em suas referências bibliográficas. Isso gera dificuldade na filtragem dos dados devido à existência de homônimos em que um autor pode escolher mais de uma maneira para ser citado. O programa gerador das matrizes minimizou esse problema considerando os nomes válidos, se esses forem representados nos currículos dos pesquisadores em formato de permuta. Se “A” referenciou “B”, “B” tem que ter referenciado “A”, o que minimiza os erros. Foram considerados os artigos publicados. As matrizes geradas não consideram o peso das ligações. Em todas as matrizes, o número que significa uma colaboração entre dois autores é o número “1”, que indica uma evolução no surgimento de colaborações inéditas entre os autores. Se “A” colaborou com “B” em 2011 e voltou a colaborar com esse em 2012, em ambas as matrizes o número correspondente será o “1”. Paralelamente, se “A” não colaborou com “C” em 2011, mas colaborou com esse em 2012, os números correspondentes nas matrizes serão, respectivamente, “0” e “1”.

3.2. Predição de Links

Quatro técnicas de predição de links foram escolhidas, conforme descrito na *Introdução*. As matrizes de adjacências geradas foram analisadas obedecendo a característica de cada método. É importante esclarecer que para realizar os cálculos da técnica de Evolução Espectral utilizou-se do software Octave⁵ que, por se tratar do contexto de álgebra linear, realiza as operações matriciais. Portanto, não se utilizou uma lista encadeada ou tabela hash para os dados da rede de coautoria, porque seria inviável o processamento algébrico por essa técnica.

⁵<https://www.gnu.org/software/octave/>

3.2.1. A teoria da Evolução Espectral

Considere uma linha temporal subdividida em três momentos ($t_1 < t_2 < t_3$), onde a distância temporal entre instantes de tempo é de um ano. Para cada momento, uma matriz correspondente foi mapeada e nomeada uma matriz de adjacência A_1 , A_2 e A_3 , respectivamente. U_2 representa a matriz resultante da decomposição de A_2 em seus autovetores. Para prever a matriz de adjacência A_3 , deve-se calcular a matriz dos autovalores Λ_3 e conservar os autovetores da matriz U_2 :

$$A_3 = U_2 \cdot \Lambda_3 \cdot U_2^t$$

Para se determinar a matriz de autovalores Λ_3 , Kunegis *et al.* (2010) sugerem utilizar uma equação linear (regressão linear): .

$$\Lambda_3 = 2\Lambda_2 - \Lambda_1,$$

onde os valores de Λ_1 e Λ_2 são obtidos pelas decomposições das matrizes de adjacência A_1 e de A_2 em seus autovalores e autovetores, respectivamente [Kunegis et al. 2010].

3.2.2. Vizinhos Comuns

Para dois nós x e y , obtém-se o número de vizinhos comuns a partir do número de nós do conjunto resultante da intersecção dos conjuntos $\Gamma(x)$ e $\Gamma(y)$. Por representar uma métrica não normalizada, essa técnica geralmente reflete a similaridade relativa entre pares de nós. VC (Vizinhos Comuns) pode ser representada como

$$VC(x, y) = |\Gamma(x) \cap \Gamma(y)|,$$

onde $\Gamma(x)$ é o conjunto de vizinhos do nó x e $\Gamma(y)$ é o conjunto de vizinhos do nó y . Fazendo-se o produto dos elementos da matriz de adjacência correspondentes da linha x pela linha y , determina-se o número de vizinhos comuns dos nós x e y [Liben-Nowell and Kleinberg 2007].

3.2.3. Adamic-Adar

Adamic e Adar (2003) definiram uma técnica para calcular a similaridade de páginas na Internet. Posteriormente, ela passou a ser utilizada no estudo de redes sociais (WANG *et al.*, 2015). Ela é referenciada em trabalhos como índice Adamic-Adar (AA), como visto em Lü e Zhou (2011) e Liben-Nowell e Kleinberg (2007). AA supõe que características semelhantes são mais relevantes para a similaridade. Para isso, considera em seu cálculo a frequência de z que corresponde à ocorrência da característica comum (intersecção) entre os conjuntos $\Gamma(x)$ e $\Gamma(y)$ de acordo com a equação

$$AA(x, y) = \sum_{z \in \Gamma(x) \cap \Gamma(y)} \frac{1}{\log |\Gamma(z)|}.$$

3.2.4. Coeficiente de Jaccard

Segundo Perez-Cervantes *et al.* (2013), o Coeficiente de Jaccard (JC) é uma normalização dos Vizinhos Comuns [Perez-Cervantes *et al.* 2013]. Liben-Nowell e Kleinberg (2007) afirmam que essa é uma técnica utilizada como métrica de similaridade na ciência da informação, desde sua definição em 1983 [Liben-Nowell and Kleinberg 2007]. JC assume os valores elevados para os pares de nós que compartilham uma maior proporção de vizinhos comuns em relação ao número de vizinhos que têm. O coeficiente é calculado dividindo o número de nós da interseção dos dois conjuntos pelo número de nós da união dos mesmos [Digiampietri *et al.* 2015], de acordo com a fórmula

$$JC(x, y) = \frac{|\Gamma(x) \cap \Gamma(y)|}{|\Gamma(x) \cup \Gamma(y)|}.$$

4. Resultados e Discussões

O percentual de acerto para todas as técnicas foi determinado utilizando-se o conceito de precisão

$$P(\%) = \frac{V_p}{V_p + F_p} \times 100,$$

onde V_p são os verdadeiros positivos – links previstos corretamente pela técnica e F_p são os falsos positivos – links previstos pela técnica incorretamente.

A Tabela 2 apresenta os resultados para cada algoritmo utilizado nesse trabalho. Os resultados da evolução espectral (EE), que é o algoritmo inédito investigado neste trabalho, precisam ser elucidados. Para a sub-rede da grande área de Engenharias, a EE não acertou nenhum dos links previstos para o ano de 2013. Já para a grande área de Exatas, a capacidade de memória do computador utilizado (24 GB) não foi suficiente. A EE apresentou um desempenho inferior aos outros métodos (3, 56%). O método Adamic-Adar foi o que atingiu o melhor desempenho que foi 817 vezes superior ao processo de predição de links aleatório.

De acordo com os resultados da Tabela 2, o desempenho de todos os métodos é baixo se comparado com os resultados apresentados por Digiampietri *et al.* (2012), cuja acurácia foi de 94%. Porém, é importante ressaltar que neste trabalho utilizou-se a medida de precisão; caso utilizasse a medida de acurácia, os resultados seriam em torno de 99% para qualquer conjunto investigado nesse trabalho.

Zhang (2017), utilizando uma técnica de machine learning com preditores, conseguiu a precisão de 42,5% no melhor dos resultados. Entretanto, é importante considerar que a base de dados analisada não é a plataforma Lattes. Em seus resultados, a técnica de Vizinhos Comuns obteve 24,4% em determinado contexto. Essa mesma técnica, nas sub-redes da plataforma Lattes analisados neste artigo, obteve o valor de 5,3%. Portanto, a mudança da base de dados pode mudar os resultados substancialmente.

5. Conclusão

A técnica da evolução espectral, que foi utilizada de forma inédita em redes extraídas da plataforma Lattes nesse trabalho, apresentou um desempenho inferior aos métodos

Tabela 2. Precisão de acerto dos links previstos em 2013 para cada algoritmo.

<i>Subconjunto Lattes</i>	<i>AL(%)</i>	<i>EE(%)</i>	<i>JC(%)</i>	<i>AA(%)</i>	<i>VC(%)</i>
<i>CNPq</i>	0,0079	3,5641	5,0299	6,4538	5,3094
<i>Engenharias</i>	0,0016	0	3,7581	5,0875	4,2579
<i>Exatas</i>	0,0014	–	3,1647	4,2567	3,2538

AL = Aleatória, EE = Evolução Espectral, JC = Jaccard, AA = Adamic-Adar e VC = Vizinhos Comuns.

considerados clássicos pela literatura. O melhor desempenho entre todas as técnicas foi de 6,45% pelo método Adamic-Adar – 817 vezes superior ao método aleatório.

Para trabalhos futuros sugere-se um foco nas sub-redes da Plataforma Lattes, procurando agrupar os pesquisadores pela área de formação e não pela grande área da ciência. É importante ressaltar que este trabalho teve o foco na predição de links para colaborações inéditas e não considera quaisquer outras características dos nós das redes objeto de estudo (por exemplo, filiação, relação entre orientador e orientando, dentre outras).

Uma outra oportunidade futura encontra-se no uso de uma matriz de adjacência com pesos para verificar se há melhora na predição de links pela técnica de Evolução Espectral e demais técnicas. A ideia de explorar os pesos já possui resultados interessantes na literatura [Sett et al. 2016].

Referências

- Adamic, L. A. and Adar, E. (2003). Friends and neighbors on the web. *Social Networks*, 25(3):211 – 230.
- Barabási, A.-L. and Albert, R. (1999). Emergence of scaling in random networks. *Science*, 286(5439):509–512.
- Barabási, A.-L., Jeong, H., Néda, Z., Ravasz, E., Schubert, A., and Vicsek, T. (2002). Evolution of the social network of scientific collaborations. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 311(3):590–614.
- Brandão, M. A. and Moro, M. M. (2012). Recomendação de colaboração em redes sociais acadêmicas baseada na afiliação dos pesquisadores. In *SBB D (Short Papers)*, pages 73–80.
- Brandão, W. C., Parreiras, F. S., and Silva, A. B. d. O. (2007). Redes em ciência da informação: evidências comportamentais dos pesquisadores e tendências evolutivas das redes de coautoria. *Informação & Informação*.
- Da Silva, A. K. A., Barbosa, R. R., and Duarte, E. N. (2012). Rede social de coautoria em ciência da informação: estudo sobre a área temática de organização e representação do conhecimento. *Informação & Sociedade*, 22(2).
- Digiampietri, L., Maruyama, W. T., Santiago, C., and da Silva Lima, J. J. (2015). Um sistema de predição de relacionamentos em redes sociais. In *Brazilian Symposium on Information Systems*, volume 11.

- Digiampietri, L., Mena-Chalco, J., de Jesús Pérez-Alcázar, J., Tuesta, E. F., Delgado, K., and Mugnaini, R. (2012). Minerando e caracterizando dados de currículos lattes. In *Brazilian Workshop on Social Network Analysis and Mining (BraSNAM)*.
- Getoor, L. and Diehl, C. P. (2005). Link mining: a survey. *ACM SIGKDD Explorations Newsletter*, 7(2):3–12.
- Kunegis, J., Fay, D., and Bauckhage, C. (2010). Network growth and the spectral evolution model. In *Proceedings of the 19th ACM International Conference on Information and Knowledge Management*, pages 739–748. ACM.
- Liben-Nowell, D. and Kleinberg, J. (2007). The link-prediction problem for social networks. *Journal of the Association for Information Science and Technology*, 58(7):1019–1031.
- Liu, X., Bollen, J., Nelson, M. L., and Van de Sompel, H. (2005). Co-authorship networks in the digital library research community. *Information Processing & Management*, 41(6):1462–1480.
- Lü, L. and Zhou, T. (2011). Link prediction in complex networks: A survey. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 390(6):1150–1170.
- Luna, J. E. O., Revoredo, K., and Cozman, F. G. (2013). Link prediction using a probabilistic description logic. *Journal of the Brazilian Computer Society*, 19(4):397–409.
- Maruyama, W. and Digiampietri, L. (2016). Co-authorship prediction in academic social network.
- Mena-Chalco, J. P., Digiampietri, L. A., Lopes, F. M., and Cesar, R. M. (2014). Brazilian bibliometric coauthorship networks. *Journal of the Association for Information Science and Technology*, 65(7):1424–1445.
- Mena-Chalco, J. P., Junior, C., and Marcondes, R. (2009). Scriptlattes: an open-source knowledge extraction system from the lattes platform. *Journal of the Brazilian Computer Society*, 15(4):31–39.
- Newman, M. E. (2001). The structure of scientific collaboration networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 98(2):404–409.
- Newman, M. E. (2004). Coauthorship networks and patterns of scientific collaboration. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101(suppl 1):5200–5205.
- Papadimitriou, A., Symeonidis, P., and Manolopoulos, Y. (2011). Friendlink: link prediction in social networks via bounded local path traversal. In *Computational Aspects of Social Networks (CASoN), 2011 International Conference on Networks*, pages 66–71. IEEE.
- Parreiras, F. S., Silva, A. d. O., Matheus, R. F., Brandão, W. C., et al. (2006). Redeci: colaboração e produção científica em ciência da informação no brasil. *Perspectivas em ciência da Informação*, 11(3):302–317.
- Perez-Cervantes, E., Mena-Chalco, J. P., De Oliveira, M. C. F., and Cesar, R. M. (2013). Using link prediction to estimate the collaborative influence of researchers. In *eScience (eScience), 2013 IEEE 9th International Conference on*, pages 293–300. IEEE.

- Sett, N., Singh, S. R., and Nandi, S. (2016). Influence of edge weight on node proximity based link prediction methods: an empirical analysis. *Neurocomputing*, 172:71–83.
- Zhang, J. (2017). Uncovering mechanisms of co-authorship evolution by multirelations-based link prediction. *Information Processing & Management*, 53(1):42–51.

É possível descrever episódios de séries de televisão a partir de comentários online?

Túlio C. Loures¹, Pedro O.S. Vaz de Melo¹, Adriano A. Veloso¹

¹Departamento de Ciência de Computação – Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)
Belo Horizonte, MG – Brazil

{loures.tc,olmo,adrianov}@dcc.ufmg.br

Abstract. *Due to the omnipresence of the Internet and the Web 2.0 in current society, it has become easy to find groups or communities of people discussing the most varied subjects. In this paper, we try to answer the question about whether, even when nothing is explicitly known about the entity referred to in the discussion, it is possible to formulate a general and brief idea of its characteristics when reading comments about it. To study this problem, we analyze the potential that comments have to describe television series, and perform a task of comment classification in order to identify which series and episode it is associated with. This classification task serves as the basis for a method that selects comments with high descriptive value for the episodes and series. Results reveal that a small set of comments can describe their episodes and, when taken together, the series as a whole.*

Resumo. *Por causa do uso onipresente da Internet e da Web 2.0 na sociedade atual, é fácil encontrar grupos ou comunidades de pessoas que discutem sobre os mais variados assuntos. Neste artigo, tentamos responder a questão sobre se, mesmo quando nada é explicitamente conhecido sobre a entidade referida na discussão, é possível formular uma ideia geral e resumida de suas características ao ler comentários sobre ela. Para estudar esse problema, analisamos o potencial que comentários têm para descrever séries de televisão, e realizamos uma tarefa de classificação de comentários a fim de identificar a qual série e episódio ele está associado. Essa tarefa de classificação serve como base de um método que seleciona comentários de alto valor descritivo para os episódios e séries. Resultados revelam que um pequeno conjunto de comentários conseguem descrever seus episódios e, quando tomados em conjunto, a série como um todo.*

1. Introdução

A Internet é composta por milhões de dispositivos em que cada um deles é responsável pela geração, armazenamento e transmissão de incontáveis dados. Neste contexto, os algoritmos de aprendizagem automática têm sido amplamente utilizados para processar e extrair informações valiosas de todos esses dados. Para fazer isso, os algoritmos precisam de representações formais das características das entidades que querem aprender sobre, o que normalmente é uma tarefa desafiadora [Bengio et al. 2013, Ji and Eisenstein 2014]. Esta é uma tarefa ainda mais difícil se essas entidades não têm qualquer informação estruturada explicitamente associada a elas. Considere, por exemplo, o problema de descrever

o conteúdo de um vídeo pessoal postado no Facebook ou de um evento associado a uma *hashtag* do Twitter.

À medida que as tecnologias da Web 2.0 incentivam a contribuição dos usuários ao invés de simplesmente oferecer informações, agora mais e mais pessoas podem comentar livremente sobre diferentes tipos de entidades. Assim, neste artigo investigamos a seguinte pergunta: é possível aprender traços que caracterizam entidades usando apenas discussões online associadas a elas como fonte de conhecimento? Uma clara vantagem de usar comentários em vez de informações estruturadas explícitas como fonte de dados é que os comentários são onipresentes na Internet. Em outras palavras, vemos comentários sobre uma determinada entidade como *crowdsourcing*, similar ao que é feito no jogo ESP [von Ahn and Dabbish 2004], um jogo online licenciado pelo Google que é usado para melhorar a precisão do seu mecanismo de buscas de imagens. Com isso, esperamos gerar atributos para uma entidade sem que nunca alguém tenha que explicitamente explicar o que é.

Além disso, por meio de análises exploratórias, este artigo também investiga o quanto pode ser aprendido sobre uma entidade unicamente a partir de conversas gerais sobre ela. Sabe-se que extrair informações relevantes a partir de comentários é uma tarefa muito desafiadora [Hsu et al. 2009, Siersdorfer et al. 2014, Cheng et al. 2015]. Comentários online são geralmente curtos, e é comum usuários fazerem uso de textos informais e não estruturados para se expressarem, através de, por exemplo, siglas e encurtamento de palavras. Outra dificuldade reside no fato de que comentários permitem que pessoas iniciem e permeiem conversas, que muitas vezes são sobre assuntos bem diferentes da entidade em si. Assim, qualquer método de aprendizado de traços sobre entidades a partir de comentários deve ser capaz de desconsiderar (ou filtrar) esse tipo de conversa.

Para estudar esse problema, analisaremos o potencial que comentários têm para descrever séries de televisão. Uma série de televisão é um tipo de programa televisivo com um número pré-definido de emissões por temporada, chamadas episódios. A partir de sequências de comentários postados em fóruns online, investigaremos se os mesmos podem (e como podem) ser usados para gerar representações formais que descrevem a série de televisão associada a eles. Mais especificamente, neste artigo discutiremos as seguintes perguntas:

1. Dada uma sequência de comentários associada a um episódio e um sumário manualmente criado do mesmo, quanto deste sumário tal sequência pode gerar automaticamente?
2. É possível criar uma representação vetorial de comentários que permita algoritmos de aprendizado de máquina classificar a qual série e episódio um dado comentário pertence?
3. Caso seja possível, quantos e quais comentários são suficientes para cobrir e explicar os acontecimentos da série de televisão associada a eles?

O restante deste artigo está organizado da seguinte maneira. Os trabalhos relacionados são descritos na Seção 2 e a descrição do problema, juntamente com a notação usada neste artigo, são descritos na Seção 3. Na Seção 4, descrevemos o conjunto de dados. Uma análise sobre o potencial que comentários têm para explicar séries de televisão é mostrada na Seção 5. Na Seção 6 é descrito um método para gerar representações formais de comentários e, a partir dela, extrair um conjunto de comentários capazes de explicar

os acontecimentos de uma dada série de televisão. Por fim, na Seção 7, descrevemos as conclusões deste trabalho.

2. Trabalhos Relacionados

Nos últimos anos, tem havido um grande número de estudos voltados para a aprendizagem de representação de entidades dos mais variados tipos e para as mais variadas tarefas. Em [Yang et al. 2015, Perozzi et al. 2014], por exemplo, os autores usam informações diferentes encontradas em grafos para aprender representações de suas redes sociais. Krizhevsky et al. [Krizhevsky et al. 2012] usou algoritmos sofisticados para aprender representações de imagens em um grande conjunto de dados. Estes estudos, no entanto, utilizam informações explícitas extraídas da própria entidade para aprender a representá-la. Em [Bickel and Scheffer 2004], informações encontradas fora da página da web (texto âncora dos links de entrada), bem como a própria página, são usadas para criar uma representação para ela. Estas ideias são similares às deste artigo, mas no nosso caso, o uso de comentários como fonte de dados levanta muitos desafios que, individualmente, já servem de inspiração para estudo. Em [Siersdorfer et al. 2014], por exemplo, os autores analisaram comentários postados em diferentes sites de mídia social, estudando principalmente como o seu conteúdo e classificação podem ser relacionados. O trabalho de [Kleinberg 2002], por sua vez, desenvolve uma abordagem formal para a modelagem de “rajadas de atividade”, que pode ser aplicado a fluxos de comentários. Choi et al. [Choi et al. 2015] caracterizam conversas coletadas do *Reddit* em termos de volume, capacidade de resposta, e viralidade.

Outra área da literatura intimamente relacionada a este artigo é a área de sumarização de textos. Para o melhor de nosso conhecimento, a maioria dos trabalhos dessa área foca na sumarização de textos completos, como livros e notícias [Liu et al. 2015b, Moratanch and Chitrakala 2016, Gambhir and Gupta 2017], ou sumarização de opiniões a partir de *reviews* feitos por usuários [Ganesan et al. 2010, Potthast and Becker 2010, Ganesan et al. 2012]. Mais recentemente, métodos foram propostos para extrair informações relevantes a partir de comentários. Khabiri et al. [Khabiri et al. 2011] propuseram uma abordagem baseada em clusterização para identificar grupos de comentários correlacionados em vídeos do Youtube. Yang et al. [Yang et al. 2011] apresentam um método para gerar sumários de páginas da Web considerando também os comentários associados a elas e a rede social entre os usuários que comentaram. Em [Kågebäck et al. 2014], os autores propõe o uso de representações vetoriais de sentenças como métrica de similaridade no processo de geração de sumários por extração. Liu et al. [Liu et al. 2015a] modelam o problema de sumarizar comentários como um problema de agrupamento, em que o número de tópicos coberto pelos comentários deve ser conhecido *a priori*.

Este artigo se diferencia dos trabalhos citados nesta seção em três principais aspectos. Primeiro, este é um trabalho que foca na caracterização do potencial de comentários como fonte de dados única para geração de representações formais de entidades a serem usadas por algoritmos de aprendizagem de máquina. Segundo, através dessa caracterização, investigamos e quantificamos as diferenças entre a linguagem usada em resumos formais e manualmente gerados da linguagem usada por usuários em comentários. Por fim, focamos na descoberta de conhecimento relevante em comentários para representar episódios e séries de televisão. No melhor do nosso conhecimento, este é o primeiro artigo que aborda qualquer um desses três aspectos.

3. Definição do Problema

Para o restante deste trabalho, definimos por c um comentário submetido a uma discussão online, composto por um conteúdo textual. Uma sequência de comentários \mathcal{C} é um conjunto ordenado de n comentários $\{c_1, c_2, \dots, c_n\}$ retirados de um contexto em comum.

Definimos também um episódio e de uma série de televisão como uma tupla (r^e, \mathcal{C}^e) , na qual r^e é o resumo do episódio e $\mathcal{C}^e = \{c_1^e, c_2^e, \dots, c_n^e\}$ a sequência de n^e comentários referente ao tópico de discussão online daquele episódio, daqui em diante também referida simplesmente por “comentários do episódio” ou “tópico do episódio”. Uma sequência de episódios \mathcal{E} é um conjunto ordenado de m episódios $\{e_1, e_2, \dots, e_m\}$ retirados de um contexto em comum.

Finalmente, estabelecemos uma série de televisão s como uma tupla (R^s, \mathcal{E}^s) , onde R^s é o resumo da série como um todo e $\mathcal{E}^s = \{e_1^s, e_2^s, \dots, e_{m^s}^s\}$ é o conjunto ordenado dos m^s episódios pertencentes àquela série. Partindo disso, podemos definir também \mathcal{C}^s a sequência de comentários da série como um todo, equivalente à concatenação de todas as sequências \mathcal{C}^{e_i} para $i \in \{1, \dots, m^s\}$.

Queremos encontrar um conjunto conciso de comentários que seja capaz de descrever bem um contexto. Para este artigo, estaremos focando no caso de sequências de comentários referentes a episódios de séries. Tendo sido estabelecidas as definições dos conceitos acima, podemos escrever essa tarefa como: encontrar um $\mathcal{C}^x \subseteq \mathcal{C}^s$ de poucos comentários para cada episódio e tal que R^s seja bem explicado por \mathcal{C}^x .

4. Base de Dados

Para este trabalho, foram coletados todos os comentários diretamente associados a episódios de 844 séries de animação do portal *MyAnimeList.net*¹. Além dos dados de comentários, foram também coletados, quando disponível, resumos r^e manualmente criados para cada episódio e . Esses resumos foram obtidos a partir de páginas da Wikipédia dedicadas a listar e descrever episódios de cada série². O resumo R^s de cada série s é simplesmente a concatenação dos resumos de todos os episódios da série em questão.

Como o número de comentários e episódios varia significativamente de série para série, foram utilizados três critérios para selecionar as séries que analisamos neste artigo. Primeiramente, buscou-se escolher aquelas séries com um número de comentários similar, de forma que os resultados não sejam enviesados para uma série com um número extremo de comentários ou que séries com poucos comentários sejam diluídas nos resultados. O segundo fator determinante para a escolha foi a existência de um resumo facilmente acessível para cada episódio da série. Por fim, escolhemos um conjunto de séries com um número de episódios na ordem de dezenas e comentários na ordem de milhares. A Tabela 1 apresenta as séries que foram escolhidas para análise, juntamente com o número de episódios e de comentários associados a elas³.

Uma vez coletados os textos descritos acima, tanto dos comentários quanto dos resumos, foram realizadas uma sequência de operações sobre eles de forma a transformar

¹<https://myanimelist.net/>

²Um exemplo de uma dessas páginas pode ser encontrado em https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_Mushishi_episodes.

³Cada série pode ser acessada em <https://myanimelist.net/anime/<ID>>, substituindo <ID> pelos valores dados na tabela.

Tabela 1. Número de episódios e número de comentários para cada série da base de dados.

ID da Série	# Episódios	# Comentários
1	26	2675
19	50	3701
30	26	3540
205	26	1812
226	13	1459
356	24	2065
457	26	2833
777	10	1663
790	23	2037
820	50	3630
877	47	2906
934	26	3529
13599	22	3643
Total	369	35493
Média	28,38	2730,23

o texto original em dados trabalháveis. Primeiramente, foram removidas as citações de outros comentários presentes nos textos. Em seguida, a formatação HTML dos textos foi eliminada, deixando apenas o texto do comentário não-formatado. Os caracteres não-imprimíveis foram excluídos. Finalmente, foram removidas as *stop words* dos textos, e todas as letras foram convertidas para suas formas minúsculas.

5. Análise e Caracterização de Discussões

Como mencionado na Seção 2, comentários são textos com características bem distintas, podendo variar significativamente em tamanho, forma e conteúdo. Assim, para melhor entender os dados coletados, nesta seção foi realizada uma série de análises sobre as características das sequências de comentários. Tais análises servirão como base para a metodologia apresentada nas seções seguintes.

Na Figura 1(a) é mostrado o histograma para o tamanho (número de termos) dos comentários da nossa base de dados. Observe que a grande maioria dos comentários apresenta um pequeno número de termos, enquanto alguns poucos comentários são bem extensos, possuindo mais de 500 palavras. Tal resultado evidencia a dificuldade de extrair comentários relevantes em sequências de comentários, pois a grande maioria é composta de comentários pequenos, muito provavelmente com pouco conteúdo informativo.

A fim de investigar se há discrepância na participação de usuários por episódio, mostramos na Figura 1(b) o histograma do número de comentários postados por episódio. Observe que muitos episódios possuem um pequeno número de comentários associados a eles, i.e., a maioria dos episódios possui entre 20 e 100 comentários. Semelhante ao que foi exibido na Figure 1(a), há também episódios com uma grande quantidade de comentários. Assim, um método para identificar comentários relevantes e descritivos enfrenta, naturalmente, o problema de ter pouca e excessiva informação disponível ao mesmo tempo.

A Figura 1(a) sugere que boa parte dos comentários não possui informação útil, dado seus tamanhos relativamente pequenos, mas a Figura 1(b) indica que a maioria dos episódios terá uma quantidade suficiente de comentários para que possamos inferir uma descrição dos mesmos. Para chegar a uma forma de determinar quais comen-

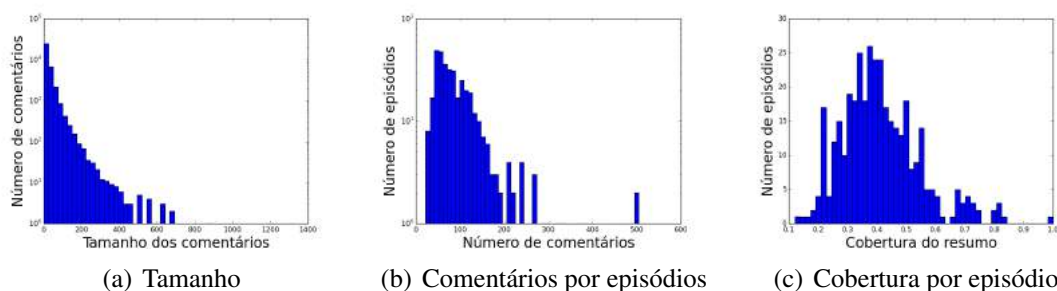


Figura 1. A Figura 1(a) mostra a distribuição de tamanho do texto (tratado) dos comentários, em escala *log*. A Figura 1(b) mostra a distribuição do número de comentários por episódio, em escala *log*. A Figura 1(c) mostra a distribuição da proporção dos resumos das séries cobertos pelos seus respectivos comentários.

tários teriam maior valor descritivo do resumo, primeiro foi feita uma análise de características que pudessem ser usadas para definir e representar os diferentes termos presentes na base de dados. Após testar algumas diferentes opções, observando as representações resultantes por meio do método de redução de dimensionalidade t-SNE⁴ [van der Maaten and Hinton 2008], determinamos que o seguinte conjunto de características apresenta informações suficientes e relevantes para a tarefa de determinar a utilidade de um comentário para uma série:

- Contagem total de ocorrências do termo;
- Entropia de Shannon do termo entre as séries;
- Entropia de Shannon do termo entre todos os episódios da base;
- Entropia de Shannon do termo entre os episódios para cada série;
- TF-IDF do termo para cada série;
- Probabilidade do termo ocorrer em cada série.

A Figura 2 mostra a visualização gerada pelo t-SNE para todas as palavras da base representadas por esse conjunto de características. Na imagem, a cor de cada termo representa a série na qual ela apresenta a maior contagem. Observa-se que, apesar da maioria das palavras se misturar em um grande agrupamento, há alguns agrupamentos menores que contêm palavras associadas a uma mesma série (pontos da mesma cor). Uma vez que as características usadas para gerar o T-SNE refletem a presença da palavra nas séries analisadas, foi verificado que esses agrupamentos contêm aquelas poucas palavras que ocorrem predominantemente em uma dada série (nomes de personagens, e outros termos específicos da série). Assim, pode-se concluir que, de fato, o número de palavras que têm o seu uso altamente concentrado em uma única série é pequeno. Isso significa dizer que se um comentário contém uma dessas palavras, provavelmente saberemos dizer a qual série ele está associado. Essa hipótese será explorada nas seções seguintes deste artigo.

Uma outra análise fundamental para entender o potencial de extrair comentários relevantes a partir de comentários é investigar a capacidade que cada comentário tem de explicar o resumo manualmente gerado do episódio no qual ele está associado. Para avaliar isso, foi utilizada uma métrica inspirada na ROUGE-N [yew Lin 2004], para $N = 1$.

⁴<https://lvdmaaten.github.io/tsne/>

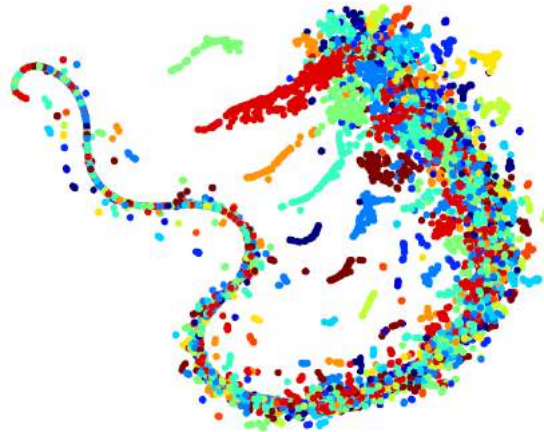


Figura 2. Representação 2D gerada pelo t-SNE das palavras da base, coloridas de acordo com a série em que mais parecem

Essa métrica informa a proporção de palavras do resumo que também estão presentes nos comentários considerados. A Figura 1(c) mostra a distribuição da cobertura dos resumos r^{e_m} de cada episódio e_m pelas suas respectivas sequências de comentários \mathcal{C}^{e_m} . Observe que, na média, apenas 40% das palavras do resumo de um episódio são encontradas nos comentários associados a ele.

6. Recuperação de Comentários Representativos

6.1. Representação de comentários

Antes de aplicar métodos que recuperem aqueles comentários que melhor explicam o resumo de uma série ou episódio, precisamos definir uma representação formal (estruturada) para eles. Uma forma simples de se fazer isso é por meio de uma representação estilo *bag-of-words*, i.e., cada comentário c é representado por um vetor binário $\mathbf{w}^c = (w_1^c, \dots, w_D^c)$, em que D é o tamanho do dicionário (número de palavras) e $w_j^c = 1$ se a palavra de índice j do dicionário aparece no comentário c , e $w_j^c = 0$ caso contrário.

No entanto, um problema dessa abordagem é a definição do dicionário. No nosso caso, entretanto, pela caracterização feita na Seção 5, sabemos que apenas uma pequena proporção das palavras possuem informação relevante para agrupamento. Portanto, podemos representar os comentários apenas com informação das palavras mais informativas. Assim, estabelecemos um parâmetro K para indicar o número de palavras mais representativas de uma dada série ou episódio, selecionadas a partir da métrica TF-IDF. As palavras obtidas como resultado desse processo são referidas por “*top-K* palavras”, e o vetor que representa cada comentário é dado por $\mathbf{w}^c = (w_1^c, \dots, w_{K \times N}^c)$, em que N é o número de episódios.

6.2. Seleção de comentários

Através de análises preliminares, observou-se que uma grande parte de comentários não contém sequer uma palavra entre as *top-K* palavras que discriminam a sua série ou episódio. Tais comentários dificilmente contêm informações relevantes e representativas da série ou episódio ao qual ele está associado. Por isso, implementou-se um segundo parâmetro, α , que indica o número mínimo de palavras relevantes que um comentário c deve

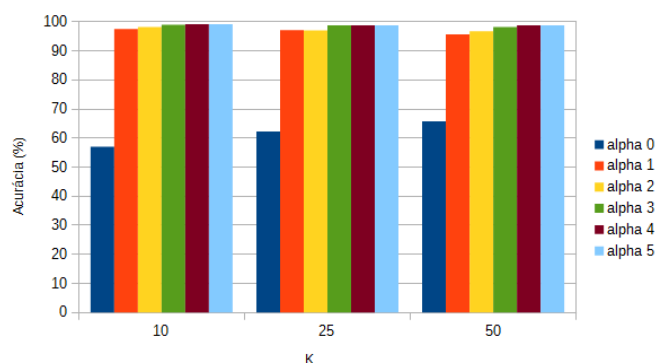


Figura 3. Porcentagens de comentários corretamente classificados em suas respectivas séries, de acordo com valores de K e α .

ter para que ele seja considerado nas próximas etapas, ou seja, $\sum_j^{K \times N} w_j^c > \alpha$. Assim, a partir dos parâmetros K e α , desejamos selecionar um subconjunto relevante e descritivo de comentários para a série ou episódio em questão. Aqueles comentários que claramente são associados a sua série ou episódio pela representação proposta são bons candidatos a comentários bem descritivos dos mesmos.

Com este objetivo, foram definidas duas tarefas de classificação para identificar os comentários que melhor representam uma dada série e episódio, respectivamente. Na primeira tarefa, os comentários são agrupados por série e o objetivo é classificar cada comentário à série a qual ele está associado dentre as N_s séries da nossa base de dados. Para o cálculo do TF-IDF, um documento é a coleção de comentários \mathcal{C}^s associados a cada série s . Na segunda tarefa, os comentários de uma dada série são agrupados por episódio e o objetivo é classificar cada comentário ao episódio ao qual ele está associado dentre os N_e episódios dessa série. Para o cálculo do TF-IDF, um documento é a coleção de comentários \mathcal{C}^e associados a cada episódio e .

Para realizar tais tarefas, utilizamos o classificador Naive Bayes⁵ [Friedman et al. 1997] da coleção de ferramentas Weka⁶ [Hall et al. 2009]. Foram utilizados os valores de parâmetros padrões para o Naive Bayes, e foi feita validação cruzada com 10 subconjuntos. Assim, o nosso objetivo é encontrar valores de K e α que apresentam um bom compromisso entre a acurácia da classificação e a quantidade de comentários corretamente classificados em cada uma das tarefas. Note que, se o valor de K for muito grande, muitas palavras serão usadas na tarefa de classificação e provavelmente muitas delas serão pouco discriminativas. Ao mesmo tempo, se o valor de α for muito grande, poucos comentários serão considerados na tarefa de classificação.

Os resultados dessa classificação podem ser observados na Figura 3, que mostra uma grande facilidade em se identificar a qual série cada comentário se refere. No entanto, já é possível perceber que considerar os comentários com nenhuma das palavras dentre as $top-K$ presentes na representação causa uma perda considerável de acurácia. Isso segue o comportamento esperado, já que comentários desse tipo não tem um mínimo informação

⁵Como a classificação de comentários por episódio ou série não é o objetivo deste trabalho, o método selecionado não é de grande importância, tendo sido escolhido por conveniência.

⁶Disponível em <http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/index.html>

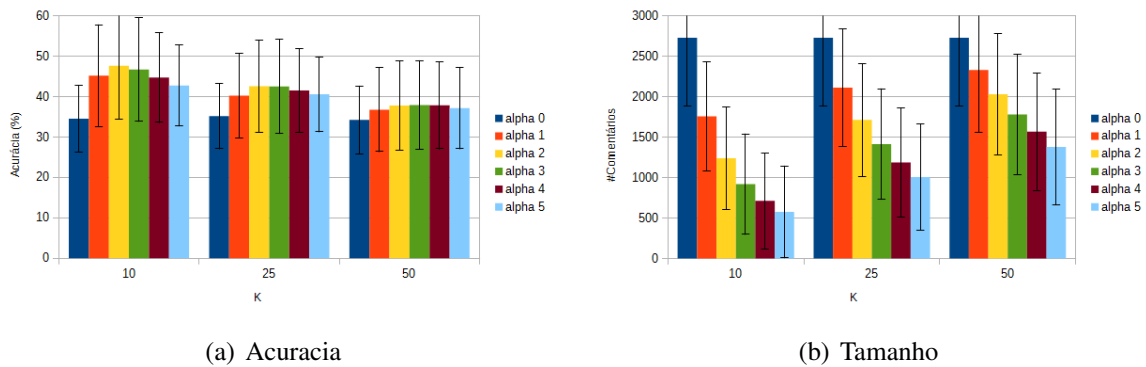


Figura 4. A Figura 4(a) mostra a média das porcentagens de comentários corretamente classificados em seus respectivos episódios, de acordo com valores de K e α . A Figura 4(b) mostra a média das contagens de comentários considerados na classificação por episódio, de acordo com valores de K e α .

discriminativa em suas representações que permita uma classificação.

Quando passamos a classificar os comentários por episódio, dada uma série, a acurácia da classificação passa a ser menor. Esse resultado pode ser observado na Figura 4(a). Nesse gráfico, podemos observar que, conforme consideramos mais palavras (maior valor de K), torna-se mais difícil identificar a qual episódio um comentário se refere. Além disso, desconsiderar comentários com baixo valor informativo (com relação à quantidade de termos relevantes) tem um impacto positivo significativo nos resultados, principalmente para valores menores de K , embora remover muitos comentários também piore a taxa de acerto.

Por outro lado, na Figura 4(b), podemos verificar que o número de comentários considerados na avaliação cresce com valores maiores de K , e cai com valores maiores de α . Isso segue o comportamento esperado, e mostra que podemos obter um conjunto mais conciso de comentários e com maior capacidade explicativa para o episódio se escolhermos a configuração correta de parâmetros.

6.3. Explicação do resumo

Por fim, a partir dos comentários corretamente classificados, podemos escolher um subconjunto dos mesmos para explicar (ou representar) o resumo da série. Para avaliar essa tarefa, foi utilizada a métrica inspirada na ROUGE-N descrita na Seção 5.

Com base nos resultados obtidos nas tarefas de classificação, tomou-se $K = 10$ e $\alpha = 3$ como valores para os parâmetros de seleção do conjunto inicial de comentários a ser considerado, dado que foram estes os valores que retornam a maior quantidade de comentários corretamente classificados no geral. Depois, cada comentário c é representado por um conjunto de palavras \mathcal{W}^c que contém as palavras presentes no comentário c e também entre as $top-K$ palavras da dada tarefa de classificação. Com isso, o objetivo é encontrar o menor número possível de comentários de forma que a união de seus respectivos conjuntos \mathcal{W} correspondam à totalidade do conjunto das $top-K$ palavras. Esse é um caso particular do problema de *Minimum Set Cover* [Chvatal 1979], que é resolvido com bons resultados por meio de um algoritmo guloso simples, escolhendo-se sempre o comentário com maior número de palavras ainda não presentes na cobertura do conjunto.

Tabela 2. A tabela mostra para cada série: quantidade média de comentários por episódio; quantidade média de episódios selecionados para resumo por episódio; porcentagem do resumo da série R^s coberto pelo total de comentários C^s ; porcentagem do resumo R^s coberto pelos comentários selecionados C^x .

ID Série	Comentários por episódio	Comentários selecionados por episódio	R^s coberto por C^s	R^s coberto por C^x
1	102,88	8,58 (8,34%)	66,42%	44,33%
19	74,02	10,06 (13,59%)	78,00%	67,14%
30	136,15	11,69 (8,59%)	78,21%	61,31%
205	69,69	6,81 (9,77%)	68,34%	50,66%
226	112,23	13,15 (11,72%)	75,00%	61,75%
356	86,04	7,54 (8,77%)	78,52%	59,74%
457	108,96	8,62 (7,91%)	84,52%	75,00%
777	166,30	9,30 (5,59%)	67,24%	51,19%
790	88,57	6,52 (7,36%)	75,66%	59,04%
820	72,60	7,92 (10,91%)	80,73%	64,25%
877	61,83	10,23 (16,55%)	79,62%	69,62%
934	135,73	8,73 (6,43%)	74,58%	54,09%
13599	165,59	9,00 (5,44%)	78,56%	59,77%

Todo esse processo é repetido para cada episódio da série a fim de escolher o menor conjunto de comentários que cobrem todas as palavras das *top-K* do episódio em questão. Por fim, tomamos a união desses conjuntos de comentários selecionados pelo *Minimum Set Cover* como os comentários selecionados como descritivos para a série.

A Figura 5 mostra o resumo retirado da Wikipédia para um dos episódios da série *s457*, tomada como exemplo ilustrativo, com as palavras marcadas de acordo com sua cobertura pelos termos encontrados nos comentários corretamente classificados ou não (parâmetros $K = 10$ e $\alpha = 3$), em verde (negrito) e vermelho (itálico), respectivamente. Tomando os resumos de todos os episódios da série em conjunto como o resumo da série em si, temos que 75% das palavras desse resumo estão presentes nos 234 comentários selecionados. Comparando-se esse resultado com a cobertura de 84% do resumo ao se considerar todos os 2833 comentários da série, podemos concluir que o método consegue, de fato, selecionar um pequeno conjunto de comentários que descrevam bem a série (0, 89 da cobertura máxima possível pelos comentários). A Tabela 2 mostra esses mesmos resultados para as demais séries consideradas no trabalho.

7. Conclusões e Trabalhos Futuros

Este artigo apresentou uma caracterização do potencial de comentários como fonte de dados única para geração de representações formais de entidades a serem usadas por algoritmos de aprendizagem de máquina. Foram analisadas características de discussões online de episódios de séries de televisão, tais como o tamanho dos comentários, relevância das palavras, e a capacidade dos comentários para explicar um resumo extraído da

When **Ginko** was a **child**, he **lived** for a while with the *Watari*, a **group** of *nomads*, which **every year** visited a **mysterious mountain**. Among the *nomads*, there is **another boy**, *Isaza*, who **befriends** the **son** of the **family** who **owns** the **mountain**, and their **friendship** **grows** despite them **barely seeing** each other.

Figura 5. Resumo da Wikipédia para um episódio, com *stopwords* em cinza, palavras cobertas pelos comentários da série em verde e negrito, e palavras não cobertas em vermelho e itálico.

Wikipedia. Com base nessa caracterização, desenvolveu-se um método para selecionar comentários de alto valor descritivo para os episódios. O método proposto foi capaz de selecionar um pequeno conjunto de comentários que, sozinhos, conseguem descrever seus episódios e, quando tomados em conjunto, a série como um todo. Por fim, investigamos e quantificamos as diferenças entre a linguagem usada em resumos formais e manualmente gerados da linguagem usada por usuários em comentários. Como trabalho futuro, pretendemos realizar um estudo mais abrangente da relação entre o parâmetro α e o efeito de um menor corpo de comentários com o valor de cobertura do resumo. Além disso, pretendemos ampliar os atributos para a seleção e classificação de comentários considerando os métodos propostos na literatura de sumarização e ranqueamento de comentários.

Referências

- Bengio, Y., Courville, A., and Vincent, P. (2013). Representation Learning: A Review and New Perspectives. *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*
- Bickel, S. and Scheffer, T. (2004). Multi-View Clustering. In *Proceedings of the Fourth IEEE International Conference on Data Mining, ICDM '04*.
- Cheng, J., Danescu-Niculescu-Mizil, C., and Leskovec, J. (2015). Antisocial Behavior in Online Discussion Communities.
- Choi, D., Han, J., Chung, T., Ahn, Y.-Y., Chun, B.-G., and Kwon, T. T. (2015). Characterizing Conversation Patterns in Reddit. In *Proceedings of the 2015 ACM on Conference on Online Social Networks - COSN '15*, New York, New York, USA.
- Chvatal, V. (1979). A greedy heuristic for the set-covering problem. *Math. Oper. Res.*, 4(3):233–235.
- Friedman, N., Geiger, D., and Goldszmidt, M. (1997). Bayesian network classifiers. *Mach. Learn.*, 29(2-3):131–163.
- Gambhir, M. and Gupta, V. (2017). Recent automatic text summarization techniques: a survey. *Artificial Intelligence Review*, 47(1):1–66.
- Ganesan, K., Zhai, C., and Han, J. (2010). Opinosis : A Graph-Based Approach to Abstractive Summarization of Highly Redundant Opinions. In *Proceedings of the 23rd International Conference on Computational Linguistics*, number August in COLING '10, pages 340–348, Stroudsburg, PA, USA. Association for Computational Linguistics.
- Ganesan, K., Zhai, C., and Viegas, E. (2012). Micropinion generation. In *Proceedings of the 21st international conference on World Wide Web - WWW '12*, page 869, New York, New York, USA. ACM Press.
- Hall, M., Frank, E., Holmes, G., Pfahringer, B., Reutemann, P., and Witten, I. H. (2009). The weka data mining software: An update. *SIGKDD Explor. Newsl.*, 11(1):10–18.
- Hsu, C.-F., Khabiri, E., and Caverlee, J. (2009). Ranking comments on the social web. In *Computational Science and Engineering, 2009. CSE'09. International Conference on*, volume 4, pages 90–97. IEEE.
- Ji, Y. and Eisenstein, J. (2014). Representation learning for text-level discourse parsing. In *Proceedings of the Association for Computational Linguistics (ACL)*, Baltimore, MD.

- Khabiri, E., Caverlee, J., and Hsu, C.-F. (2011). Summarizing User-Contributed Comments. In *ICWSM*.
- Kleinberg, J. (2002). Bursty and hierarchical structure in streams. In *Proceedings of the 8th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, KDD '02*, New York, NY, USA.
- Kågebäck, M., Mogren, O., Tahmasebi, N., and Dubhashi, D. (2014). Extractive Summarization using Continuous Vector Space Models. In *Proceedings of the 2nd Workshop on Continuous Vector Space Models and their Compositionality (CVSC)*, pages 31–39, Gothenburg, Sweden. Association for Computational Linguistics.
- Krizhevsky, A., Sutskever, I., and Hinton, G. E. (2012). ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks. In *Advances in Neural Information Processing Systems 25*. Curran Associates, Inc.
- Liu, C.-Y., Chen, M.-S., and Tseng, C.-Y. (2015a). IncreSTS: Towards Real-Time Incremental Short Text Summarization on Comment Streams from Social Network Services. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 27(11):2986–3000.
- Liu, F., Flanigan, J., Thomson, S., Sadeh, N. M., and Smith, N. A. (2015b). Toward Abstractive Summarization Using Semantic Representations. In Mihalcea, R., Chai, J. Y., and Sarkar, A., editors, *HLT-NAACL*, pages 1077–1086. The Association for Computational Linguistics.
- Moratanch, N. and Chitrakala, S. (2016). A survey on abstractive text summarization. In *2016 International Conference on Circuit, Power and Computing Technologies (ICCPCT)*, pages 1–7. IEEE.
- Perozzi, B., Al-Rfou, R., and Skiena, S. (2014). DeepWalk: Online Learning of Social Representations. In *Proceedings of the 20th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, KDD '14*.
- Potthast, M. and Becker, S. (2010). Opinion Summarization of Web Comments. pages 668–669.
- Siersdorfer, S., Chelaru, S., Pedro, J. S., Altingovde, I. S., and Nejd, W. (2014). Analyzing and Mining Comments and Comment Ratings on the Social Web. *ACM Trans. Web*.
- van der Maaten, L. and Hinton, G. (2008). Visualizing high-dimensional data using t-sne. *Journal of Machine Learning Research*, 9:2579–2605.
- von Ahn, L. and Dabbish, L. (2004). Labeling Images with a Computer Game. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '04*.
- Yang, C., Liu, Z., Zhao, D., Sun, M., and Chang, E. Y. (2015). Network Representation Learning with Rich Text Information. In *Proceedings of the 24th International Conference on Artificial Intelligence, IJCAI'15*.
- Yang, Z., Cai, K., Tang, J., Zhang, L., Su, Z., and Li, J. (2011). Social context summarization. In *Proceedings of the 34th international ACM SIGIR conference on Research and development in Information - SIGIR '11*, page 255, New York, New York, USA. ACM Press.
- yew Lin, C. (2004). Rouge: a package for automatic evaluation of summaries. pages 25–26.

Análise comparativa da competitividade do Campeonato Brasileiro de Futebol mediante redes complexas

Esteban F. Tuesta¹, Karina V. Delgado¹, Adriano S. Barbieri¹,
Cristina B. Alves¹, Guilherme L. Carvalho¹, Alan U. Sabino¹,
Lucas A. M. L. Andre¹, Lucas C. Zanoti¹, Paula A. Toyota¹,

¹Escola de Artes, Ciências e Humanidades
Universidade de São Paulo

tuesta@usp.br

Abstract. *The uncertainty about the results of sporting events has been the motivation for many works in several areas of research. In particular, several football championships have been studied analyzing their economic performance, efficiency and competitiveness. In this work, different measures of competitiveness of rankings are used to compare the classifications of the teams in the Brazilian Soccer Championship between the years 2007 and 2015. It is known that the measures of competitiveness often do not present the same result. In the analysed case, all measures agreed to appoint the 2007 championship as the most competitive, but showed small differences in relation to the least competitive.*

Resumo. *A incerteza sobre os resultados de eventos esportivos tem sido a motivação de muitos trabalhos em diversas áreas de investigação. Em especial, diversos campeonatos de futebol têm sido estudados analisando o seu desempenho econômico, a eficiência e a competitividade. Neste trabalho são utilizadas diferentes medidas de competitividade de rankings para comparar as classificações dos times no Campeonato Brasileiro de Futebol entre os anos 2007 e 2015. É conhecido que as medidas de competitividade com frequência não apresentam os mesmos resultados. No caso analisado, todas as medidas concordaram em apontar o campeonato de 2007 como o mais competitivo, mas mostraram pequenas diferenças em relação ao menos competitivo.*

1. INTRODUÇÃO

A análise de eventos esportivos têm chamado a atenção de pesquisadores e pode ser feita desde diferentes perspectivas. Por exemplo, desde a perspectiva biológica com o objetivo de melhorar o rendimento dos atletas e fazê-los mais competitivos, aumentando assim as chances de vitórias. Do ponto de vista econômico para, por exemplo, organizar uma instituição esportiva, um evento, ou mesmo, avaliar os custos e as possibilidades de lucro. Desde o ponto de vista matemático para criar estratégias e táticas de conjuntos.

O futebol é uma das práticas esportivas mais conhecidas no mundo e é amplamente difundida em quase todas as cidades ao redor do globo. A organização internacional que rege quase todas as atividades profissionais ligadas a esse esporte é a FIFA (The Fédération Internationale de Football Association). ¹ Essa entidade organiza, através das

¹<https://www.fifa.com/>

entidades associadas em cada país, as competições de futebol. A FIFA organiza também as competições internacionais tais como o Campeonato Mundial de Futebol (copa do mundo), o Campeonato Mundial de Clubes, entre outros. O estudo dos diversos campeonatos de futebol contempla o rigoroso estudo de fatores econômicos, biológicos, matemáticos, políticos e sociais. O desempenho econômico, a eficiência e competitividade de diferentes ligas europeias têm sido analisados em [Barros and Leach 2006, Haas 2003, Barros et al. 2009, Buraimoa and Simmons 2009, Boscá et al. 2009].

O Campeonato Brasileiro de Futebol, também conhecido por Brasileirão, é uma das ligas mais importantes do mundo [Gasparetto 2012]. Esse campeonato é observado pela maior parte dos empresários e dos que trabalham no mundo do futebol. Além disso, é conhecida a longa tradição esportiva no Brasil e a seu desempenho no futebol internacional, sendo o principal exportador de jogadores de futebol. Esse campeonato também foi analisado desde o ponto de vista econômico por [Madalozzo and Villar 2009, Barros et al. 2010, Gasparetto 2012].

A análise de competitividade é uma das formas de avaliar ligas ou campeonatos, sendo que métricas de competitividade em rankings têm sido propostas por diferentes estudos [Criado et al. 2013, Bowman et al. 2012]. Em [Criado et al. 2013] é apresentada uma nova técnica para analisar a competitividade de famílias de rankings, definindo um grafo de competitividade dinâmico, a partir das mudanças nas posições relativas dos times em classificações consecutivas, assumindo que exista incerteza sobre os resultados de cada jogo [Bowman et al. 2012]. A grandeza numérica da competitividade indica uma relação direta com a incerteza da posição dos times no ranking final, isto é, a maior competitividade, maior incerteza sobre os resultados dos jogos e das posições no ranking. Os autores focam o trabalho nas quatro maiores ligas europeias de futebol. Um trabalho do mesmo grupo [Pedroche et al. 2015] analisa a competitividade em uma série de rankings em que existe a possibilidade de empate, usando redes complexas.

Neste trabalho focamos na análise da competitividade do campeonato brasileiro de futebol desde o ano 2007 até 2015, usando as medidas estabelecidas em [Criado et al. 2013]. Neste período foram jogados mais de 3000 partidas e os times passaram por muitas transformações, desde que em alguns casos, a maior parte dos jogadores de uma temporada, não jogaram pelo mesmo time na próxima.

O restante deste texto está organizado da seguinte forma. Na Seção 2 são apresentados os conceitos de ranking, família de rankings, os grafos de competitividade e as métricas usadas para comparar famílias de rankings. A Seção 3 apresenta o método utilizado neste trabalho e a Seção 4 apresenta uma discussão dos resultados obtidos da aplicação das métricas de rankings no Campeonato Brasileiro de Futebol. A Seção 5 apresenta os trabalhos correlatos. Por fim, a Seção 6 apresenta as conclusões e trabalhos futuros.

2. Fundamentos

2.1. Definição de ranking e família de rankings

Dado um conjunto de elementos (também chamados de competidores ou nós) $N = \{1, \dots, n\}$, um ranking c é uma permutação desses elementos. Usaremos $i \prec_c j$ para denotar que o elemento i aparece antes do elemento j no ranking c . Dada uma família

de rankings $R = \{c_1, c_2, \dots, c_r\}$, dizemos que os elementos i e j competem se existe um $t \in \{1, 2, \dots, r-1\}$ tal que i e j trocam sua posição relativa entre rankings consecutivos c_t e c_{t+1} .

2.2. Grafo de competitividade

O grafo de competitividade de uma família de rankings R [Criado et al. 2013] é denotado por $G_c(R) = (N, A)$, em que N corresponde ao conjunto de nós do grafo e A é o conjunto de arestas. No grafo, existe uma aresta não direcionada entre o nó i e j se (i, j) competem.

2.3. Grafo de competitividade evolutivo

Dois nodes i e j competem k vezes se k é o número máximo de rankings em que i e j competem. O grafo de competitividade evolutivo de uma família de rankings R [Criado et al. 2013] é denotado por $G_c^e(R) = (N, A^e)$. $G_c^e(R)$ é um grafo não direcionado com pesos em que existe uma aresta com peso k entre o nó i e j , se (i, j) competem k vezes. Note que a ordem dos rankings é fundamental no cálculo dos pesos do grafo $G_c^e(R)$.

2.4. Comparando duas famílias de rankings

Para comparar duas famílias de rankings $R = \{c_1, c_2, \dots, c_r\}$ e $S = \{c'_1, c'_2, \dots, c'_r\}$ para um conjunto de competidores $N = \{1, \dots, n\}$ e $N' = \{1, \dots, n'\}$, respectivamente existem várias formas de definir competitividade [Criado et al. 2013]. A seguir apresentamos as diferentes métricas apresentadas em [Criado et al. 2013].

Grau médio normalizado. O grau médio normalizado é a soma de todos os graus dos nós no grafo de competitividade dividida pela soma do maior grau possível de todos os nós:

$$ND(R) = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{i \in N} k_i, \quad (1)$$

em que k_i é o número de vizinhos do nó i . Essa métrica encontra o número vezes que qualquer par de competidores trocaram sua posição na família de rankings. Assim, se $ND(R) > ND(S)$, dizemos que R é mais competitivo que S .

Média normalizada da força. A força de um nó em um grafo com pesos é a soma dos pesos de suas arestas incidentes. A média normalizada da força de uma família de rankings R é a soma dos pesos das arestas do grafo de competitividade evolutivo, denotada por $w(A^e)$, dividida pela soma do maior possível peso de todas as arestas:

$$NS(R) = \frac{w(A^e)}{\binom{n}{2}(r-1)}. \quad (2)$$

Se $NS(R) > NS(S)$, dizemos que R é mais competitivo que S .

Coefficiente de clusterização. O coeficiente de clusterização de um nó i é definido por:

$$C_i = \frac{e_i}{\binom{k_i}{2}}, \quad (3)$$

em que e_i é o número de pares conectados entre os vizinhos de i e o denominador representa todos os possíveis pares entre os vizinhos de i . O coeficiente de clusterização do ranking R é a média dos coeficientes de clusterização dos nós do grafo de competitividade:

$$C(R) = \frac{1}{n} \sum_{i \in N} C_i. \quad (4)$$

Se $C(R) > C(S)$, dizemos que R é mais competitivo que S .

Coefficiente de correlação τ de Kendall generalizado. Para dois rankings c_1 e c_2 de um conjunto N de n elementos, o coeficiente de correlação τ de Kendall é:

$$\tau(c_1, c_2) = \frac{\tilde{K}(c_1, c_2) - K(c_1, c_2)}{\binom{n}{2}} = 1 - \frac{2|A_R|}{\binom{n}{2}} = 1 - \frac{4|A_R|}{n(n-1)}, \quad (5)$$

em que $\tilde{K}(c_1, c_2)$ denota o número de pares (i, j) que não competem em relação a $R = \{c_1, c_2\}$; $K(c_1, c_2)$ o número de pares (i, j) que competem; $\binom{n}{2}$ é o número de todos os possíveis pares de nós (i, j) ; e A_R é o número de arestas do grafo de competitividade com relação a $R = \{c_1, c_2\}$. O coeficiente de correlação generalizado $\tau(R)$ de Kendall de uma família R de rankings, generalizando a definição anterior, é:

$$\tau(R) = \frac{\tilde{K}(R) - K(R)}{\binom{n}{2}} = 1 - \frac{2|A_R|}{\binom{n}{2}} = 1 - \frac{4|A_R|}{n(n-1)}. \quad (6)$$

Coefficiente de correlação τ_e de Kendall evolutivo. Levando em consideração o número de vezes que cada par de nós competem, define-se:

$$\tau_e(R) = 1 - \frac{2w(A_R^e)}{\binom{n}{2}(r-1)}, \quad (7)$$

em que $w(A_R^e)$ denota a soma de todos os pesos do gráfico de competitividade evolutivo, e o denominador $\binom{n}{2}(r-1)$ representa a soma sobre todos os possíveis links de seus possíveis pesos maiores. O Coeficiente de correlação τ_e de Kendall evolutivo de uma família de rankings está diretamente relacionado com a Média normalizada da força (NS):

$$\tau_e(R) = 1 - 2NS(R). \quad (8)$$

Diremos que R é mais competitivo que S no sentido do Coeficiente de correlação τ_e de Kendall evolutivo se $\tau_e(R) < \tau_e(S)$. Note que quanto menor for $\tau_e(R)$, maior será a competitividade de R .

2.5. Campeonato Brasileiro de Futebol

O Campeonato Brasileiro é um dos mais competitivos no mundo, pois nele participam times que já ganharam troféus do Campeonato Mundial de Clubes da FIFA e também da Copa Libertadores de América. A liga é composta por 20 times que competem em dois turnos (jogos de ida e volta), somando no total 38 jogos para cada time. É chamada de rodada um ciclo de jogos definidos no calendário pre-determinado.

Desde o ano 2003 este campeonato passou a ser jogado sobre o sistema de *pontos corridos*, que é um modelo em que não há uma etapa classificatória final, senão que o ranking é estabelecido por todos os pontos conquistados ao longo do campeonato. Os primeiros times na ordenação final (de maior a menor pontuação), se classificam automaticamente para disputar a Copa Libertadores e o seguinte grupo, classifica para disputar a copa Sul-Americana. Os quatro últimos colocados são desclassificados e passarão a disputar a segunda divisão, não podendo disputar a competição no ano seguinte. Os 4 primeiros classificados na disputa da segunda divisão do ano anterior terão de disputar a primeira divisão no ano corrente.

3. Método

Neste trabalho é analisada a competitividade do Campeonato Brasileiro de Futebol segundo as medidas descritas na Seção 2.4. Uma vez que a estrutura topológica dos grafos de competitividade é formada por nós (times), e arestas (troca de posições entre dois times), que apresentam características dinâmicas ao longo do período estudado, considera-se essa rede como sendo complexa.

Os dados das rodadas do Campeonato Brasileiro² foram extraídos para o período 2007 até 2015 e colocados em uma tabela em que as colunas indicam as rodadas, e as linhas as classificações dos times na rodada. As comparações entre rankings começaram a partir de quarta rodada, pois nas primeiras, há sempre um grupo de times que apresentam a mesma pontuação e posição mesmo depois de estabelecidos os critérios de desempate. Para processamento e apresentação dos resultados foram usados o pacote R³ e o Gephi⁴.

4. Resultados

Para cada ano analisado, os dados são dispostos de modo a observar as mudanças dos times nas posições do campeonato rodada após rodada. Na Tabela 1 é apresentada parte da série para o ano 2010 a partir da quarta rodada. Os resultados obtidos para cada uma das medidas de competitividade: grau médio normalizado (ND), Média normalizada da força (NS), Coeficiente de clusterização (C), Coeficiente de correlação de Kendall generalizado (τ) e o Coeficiente de correlação de Kendall evolutivo (τ_e) são mostrados na Tabela 2.

De acordo com as definições de competitividade, nem todas as medidas apresentam os mesmos resultados, no sentido delas indicarem o mesmo objeto como sendo ou o mais ou o menos competitivo. Pode ser observado na Tabela 2 que para todas as medidas o ano que o campeonato brasileiro foi mais competitivo foi o ano 2007, no entanto, para o ano menos competitivo houveram discordâncias entre as medidas, por exemplo ND e τ mostraram 2011 como o ano menos competitivo, NS e τ_e mostraram 2012 e C mostrou o ano 2015. Entretanto, os valores de NS para 2012 e 2011 são bem próximos, assim como os valores de C para 2015 e 2011. É importante ressaltar que em geral, as medidas que são geradas a partir do grafo de competitividade evolutivo (que é ponderado por pesos), tais como NS e τ_e são mais acuradas que as medidas geradas a partir do grafo de competitividade (que não é ponderado). No caso do ano menos competitivo, as duas medidas dependentes de ponderação (NS e τ_e) apresentaram o mesmo resultado.

²<http://futpedia.globo.com/campeonato/campeonato-brasileiro/>

³<https://www.r-project.org/>

⁴<https://gephi.org/>

Tabela 1. Parte dos dados do Campeonato Brasileiro de 2010

4	5	6	.....	36	37	38
Corinthians	Corinthians	Corinthians	.....	Fluminense	Fluminense	Fluminense
Santos	Ceara	Ceara	.....	Corinthians	Corinthians	Cruzeiro
Cruzeiro	Fluminense	Fluminense	.....	Cruzeiro	Cruzeiro	Corinthians
Ceara	Avai	Flamengo	.....	Gremio	Gremio	Gremio
Avai	Botafogo	Santos	.....	Atletico-PR	Botafogo	Atletico-PR
Botafogo	Sao Paulo	Cruzeiro	.....	Botafogo	Atletico-PR	Botafogo
Sao Paulo	Palmeiras	Guarani	.....	Santos	Santos	Internacional
Palmeiras	Santos	Botafogo	.....	Internacional	Internacional	Santos
Fluminense	Cruzeiro	Avai	.....	Sao Paulo	Sao Paulo	Sao Paulo
Atletico-MG	Internacional	Gremio	.....	Palmeiras	Palmeiras	Palmeiras
Flamengo	Atletico-MG	Sao Paulo	.....	Vasco	Ceara	Vasco
Guarani	Flamengo	Palmeiras	.....	Ceara	Vasco	Ceara
Gremio	Guarani	Goias	.....	Flamengo	Atletico-MG	Atletico-MG
Vitoria	Gremio	Atletico-PR	.....	Atletico-MG	Avai	Flamengo
Atletico-PR	Vitoria	Internacional	.....	Atletico-GO	Flamengo	Avai
Vasco	Vasco	Atletico-MG	.....	Avai	Atletico-GO	Atletico-GO
Internacional	Goias	Prudente	.....	Vitoria	Vitoria	Vitoria
Prudente	Atletico-PR	Vitoria	.....	Guarani	Guarani	Guarani
Atletico-GO	Prudente	Vasco	.....	Goias	Goias	Goias
Goias	Atletico-GO	Atletico-GO	.....	Prudente	Prudente	Prudente

Da mesma maneira como apresentado em [Criado et al. 2013], é possível também adicionar à tabela de medidas estáticas, gráficos que representem a evolução dos parâmetros ao longo das rodadas. Por meio desta estratégia, pode-se analisar se houve alguma flutuação exagerada da competitividade ao longo de algum dos torneios.

Tabela 2. Principais medidas de competitividade para o Campeonato Brasileiro

Medida	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
ND	0,879	0,795	0,774	0,784	0,663	0,695	0,774	0,674	0,711
NS	0,088	0,073	0,071	0,074	0,060	0,059	0,083	0,075	0,062
C	0,919	0,896	0,860	0,865	0,799	0,841	0,875	0,798	0,797
τ	-0,758	-0,589	-0,547	-0,568	-0,326	-0,389	-0,547	-0,347	-0,421
τ_e	0,823	0,853	0,857	0,851	0,880	0,882	0,835	0,850	0,875

Nas Figuras 1 até 3 são apresentadas as medidas de competitividade para os Campeonatos Brasileiros desde o ano 2007 até 2015. Note que no início do campeonato, todos os times começam com 0 pontos, o que indica que nos primeiros jogos haverá muitos empates de pontuação e muita variabilidade provocada pelas grandes mudanças de posição entre os times. Devido a isso, as medidas para as primeiras 5 rodadas do campeonato não são apresentadas.

Na Figura 1 (esquerda), que representa o grau médio normalizado, é possível observar que o campeonato do ano 2007 foi mais competitivo de princípio a fim, da mesma forma, o campeonato de 2011 foi o menos competitivo para todas as rodadas. Os anos 2008, 2009, 2010 e 2013 apresentam valores de competitividade muito próximos principalmente ao final do campeonato (a partir da rodada 25).

A Figura 1 (direita) apresenta a média normalizada da força, que é uma medida de competitividade ponderada. Nela é possível observar que a partir da décima rodada,

o torneio de 2007 foi o mais competitivo até o fim. Desde a rodada 20 os campeonatos 2011 e 2012 são similares e são os menos competitivos.

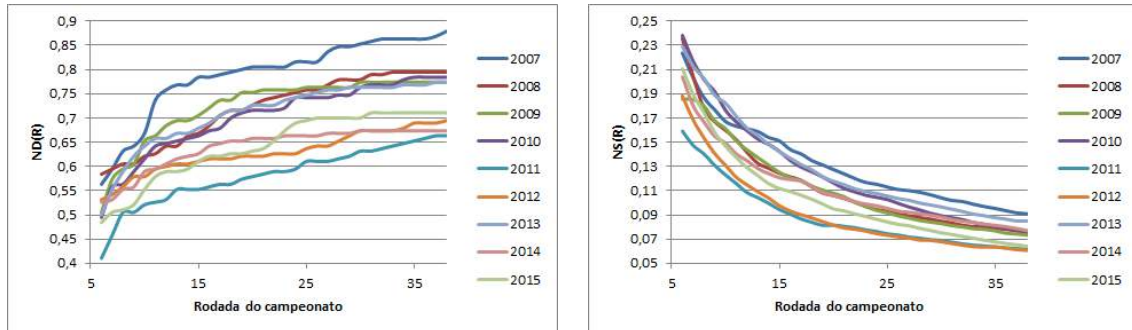


Figura 1. $ND R$ e $NS R$ para os Campeonatos Brasileiros desde 2007 até 2015

As Figuras 2 (esquerda) e (direita) mostram o coeficiente de correlação de Kendall generalizado e evolutivo, respectivamente. É possível ver que para todas as rodadas, os campeonatos de 2007 e 2011 foram o mais competitivo e o menos competitivo, respectivamente. O grupo de campeonatos 2008, 2009, 2010 e 2013 apresentam competitividade similar a partir da rodada 25.

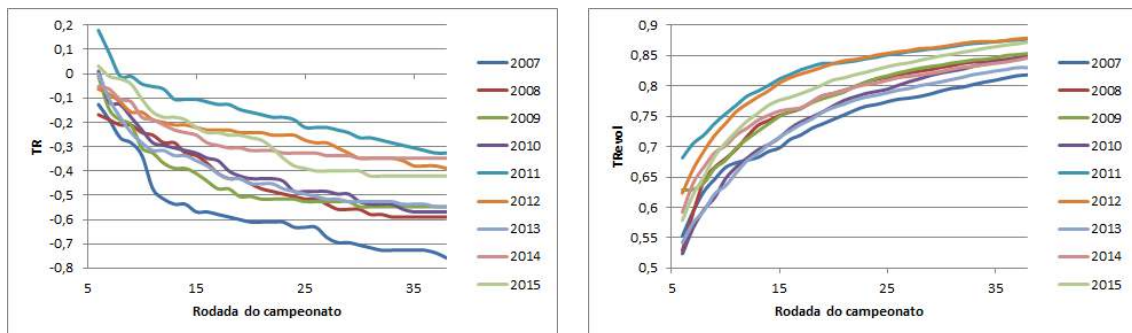


Figura 2. τR e $\tau_e R$ para os Campeonatos Brasileiros desde 2007 até 2015

A Figura 3 mostra o coeficiente de clusterização, nela observa-se também o campeonato 2007 como o mais competitivo desde a décima rodada e os campeonatos dos anos 2011 e 2015 como os menos competitivos a partir da rodada 15. Nesta figura, é claro observar que o campeonato de 2008 é o segundo mais competitivo.

Nas Figuras 4 e 5 são apresentados os grafos de competitividade do Campeonato Brasileiro de 2007 até 2012 e de 2013 até 2015, respectivamente. O tamanho do nó indica a maior ou menor quantidade de links gerados por esse nó. O tamanho do nó pode ser um indicativo de que o time foi muito bem no campeonato ou foi muito mal. Por exemplo, no grafo correspondente ao ano 2012 da Figura 4 é possível notar que os times Juventude e América-RN, são os que tem menor número de links e nesse ano foram rebaixados. Por outro lado o São Paulo apresenta também um número menor de links e foi o campeão desse ano. Para o ano 2011, pode se observar que o Clube Corinthians apresenta poucos links, indicando que foi consistentemente líder desse torneio conseguindo o campeonato. Já os times Avai e Atlético-PR, também tem poucos links indicando que sempre estiveram na parte de baixo da tabela, perdendo esse ano a categoria.

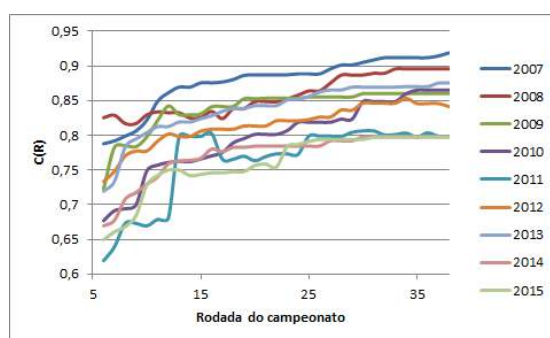


Figura 3. $C(R)$ para os Campeonatos Brasileiros desde 2007 até 2015

5. Trabalhos Correlatos

O desempenho econômico e esportivo da Liga Premier Inglesa, a liga com maior poder econômico do planeta, é analisado em [Barros and Leach 2006] e [Haas 2003]. A análise por envoltória de dados (em inglês Envelopment Analysis –DEA) é usada por [Barros and Leach 2006]. Essa análise é um procedimento não-paramétrico que compara uma unidade com uma fronteira eficiente usando indicadores de desempenho, sendo muito utilizada quando se investiga a eficiência de múltiplas entradas em múltiplas saídas. O enfoque econométrico de custos estocásticos é usado por [Dawson et al. 2000] e por [Barros and Leach 2007], em que supõe-se que uma estratégia adequada para alcançar uma fronteira de eficiência é enfrentar os custos dos insumos de entradas com as saídas de modo a maximizar os lucros.

De maneira similar, a eficiência e a competitividade das diferentes ligas europeias tem sido analisada. A Liga Espanhola de Futebol –que conta com os dois times mais populares no mundo– tem sido estudada utilizando DEA e modelos de fronteira estocástica em [Barros et al. 2009, Buraimoa and Simmons 2009, Boscá et al. 2009]. A Liga Italiana tem sido analisada por [Boscá et al. 2009]. Estes trabalhos visam analisar sob a perspectiva econômica, os diversos aspectos da competitividade dos times. Por outro lado, [Buraimoa and Simmons 2009] estuda o impacto da incerteza no resultado de um determinado jogo na Liga Espanhola em dois tipos de audiências, os que assistem ao jogo no estádio e os que assistem pela TV.

Em [Bowman et al. 2012] são descritas várias medidas de competitividade em rankings, baseadas na ideia de balanço competitivo e *spread* de pontos [Zimbalist 2002, Fort and Maxcy 2003, Lee 2010]. Na análise de balanço competitivo são abordadas as mudanças a longo prazo no equilíbrio competitivo, procurando examinar o impacto das mudanças na política das ligas e fatores econômicos externos no balanço competitivo. Uma das medidas é a razão entre o desvio padrão da porcentagem de vitórias e o desvio padrão idealizado de porcentagens de vitórias se todas as equipes tivessem igual capacidade competitiva.

O Campeonato Brasileiro de Futebol foi também estudado considerando diferentes aspectos. Em [Madalozzo and Villar 2009] são analisados os fatores que afetam a presença do público no estádio como o tipo de venda das entradas, a qualidade dos jogos, o desempenho dos times e a incerteza sobre o resultado do jogo quando isola uma determinada partida entre dois times, em jogos de ida ou de volta. Em [Barros et al. 2010], a

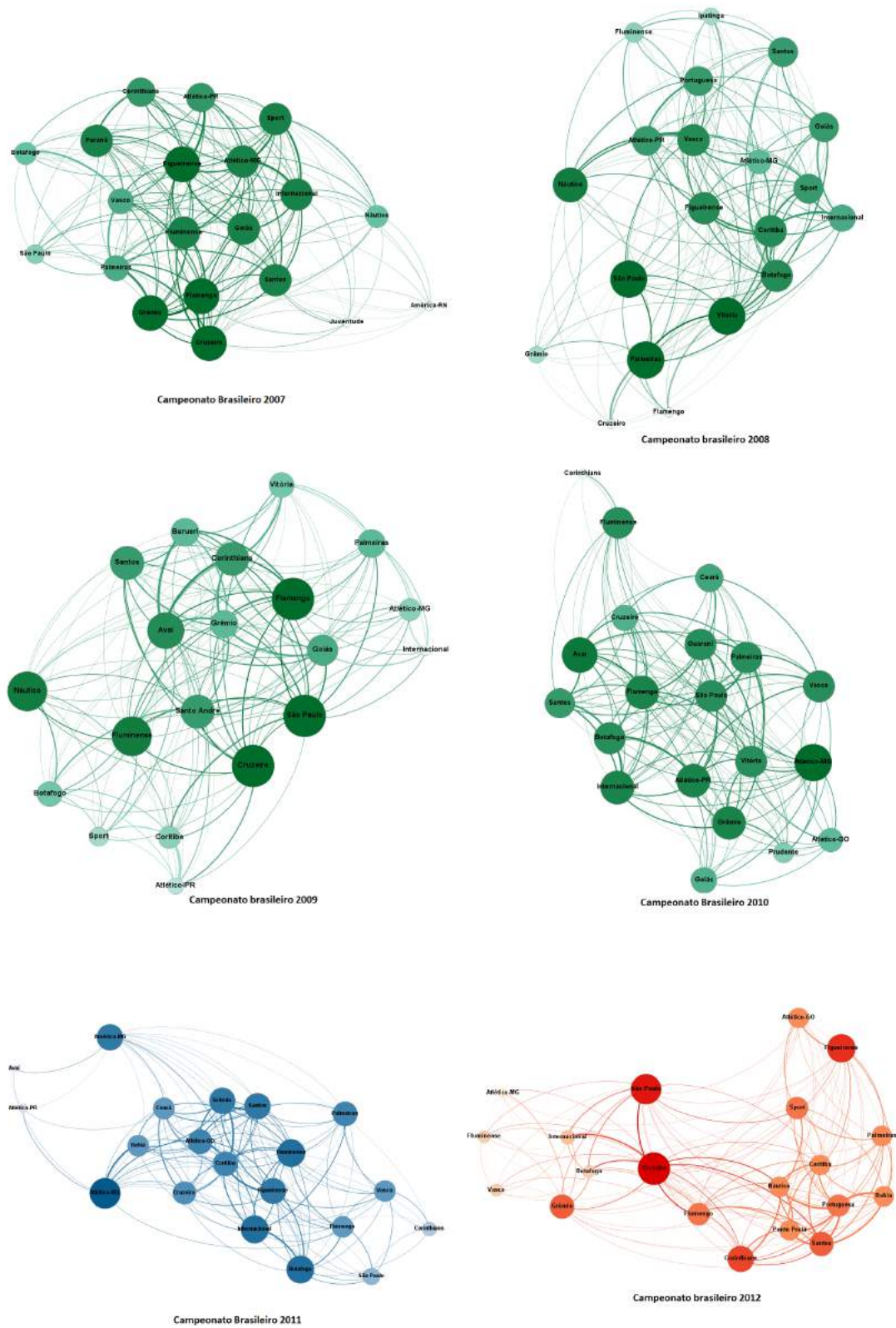


Figura 4. Grafos de competitividade do Campeonato Brasileiro de 2007 até 2012

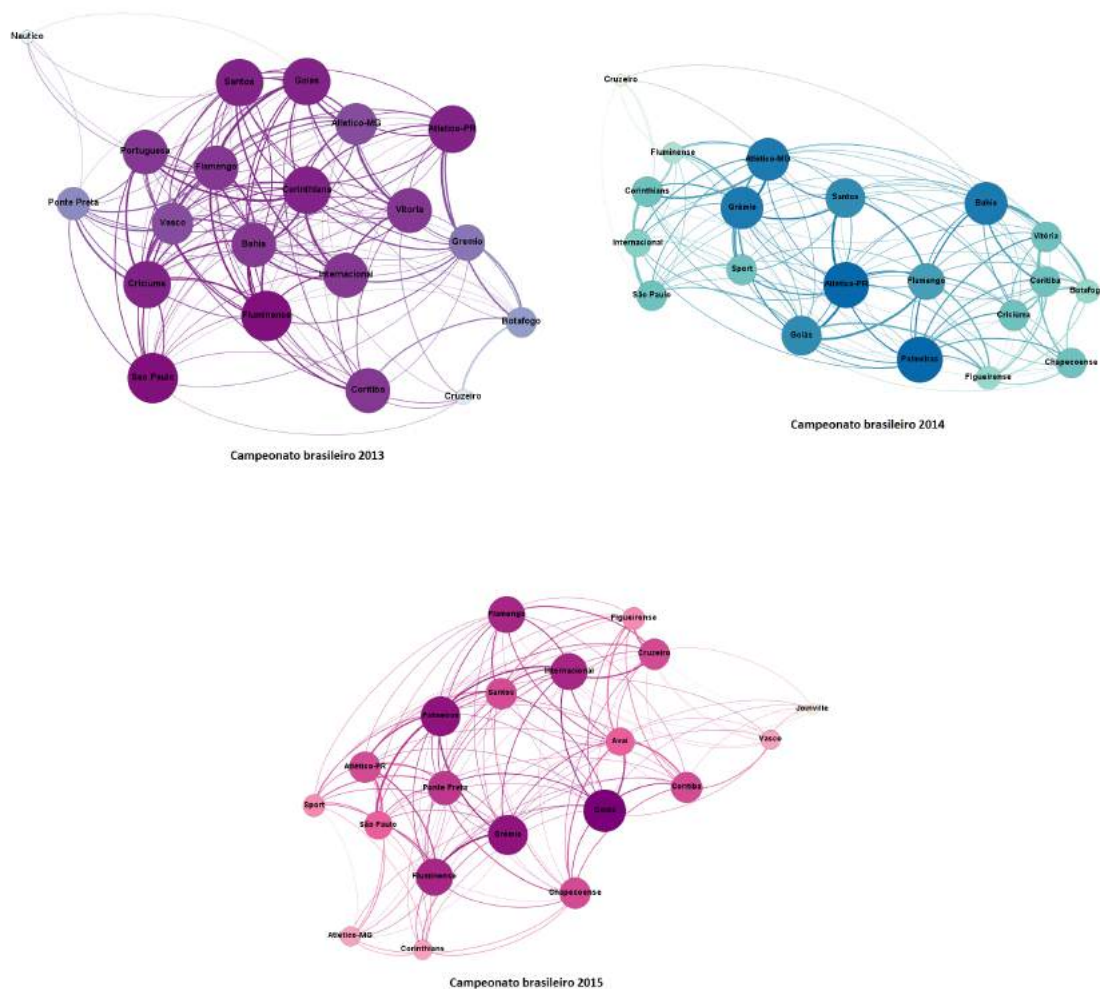


Figura 5. Grafos de competitividade do Campeonato Brasileiro de 2013 até 2015

eficiência técnica desde o ponto de vista da gestão econômica é observada e os autores utilizam o DEA para extrair as conclusões. Em [Gasparetto 2012] é observada a correlação positiva entre o investimento dos times na transferência de jogadores e o desempenho no torneio.

6. Conclusões e Trabalhos Futuros

Os grafos de competitividade podem ser aplicados para analisar rankings ou classificações em que seja possível a representação do problema em forma de grafos dinâmicos. Neste trabalho diferentes medidas de competitividade foram aplicadas aos dados do Campeonato Brasileiro de Futebol e os resultados mostram que: (i) todas as medidas de competitividade concordaram em mostrar o ano 2007 como o anos mais competitivo no Campeonato Brasileiro de Futebol; (ii) as medidas associadas com grafos de competitividade evolutivos, isto é, NS e τ_e , concordaram em mostrar o ano 2012 como o ano de menor competitividade; e (iii) as medidas estudadas podem ser utilizadas para analisar a evolução

do processo de competitividade. No caso da aplicação estudada, é possível ver em qual parte do torneio aumentou o grau de competitividade.

Entre os trabalhos futuros a serem realizados estão o da definição da competitividade a partir de grafos bidirecionais e o cálculo das métricas a partir de ponderações do tamanho dos saltos. Os saltos que um objeto pode realizar em sucessivas classificações são de dois tipos, dentro de um grupo ou fora do grupo. Estas abordagens estão em andamento e os resultados preliminares mostram que o uso de grafos bidirecionais ponderados fornece melhores resultados.

Um conjunto de aplicações estão sendo elaboradas nas áreas de cientometria e bibliometria. Uma vez que é possível medir qualquer sistema de classificação dinâmico, pretende-se estudar as classificações universitárias e verificar se existe algum elemento de competitividade entre as universidades por áreas específicas, seja nos rankings mundiais ou nos resultados de patentes geradas.

Referências

- Barros, C. P., Assaf, A., and Sa-Earp, F. (2010). Brazilian football league technical efficiency: A simar and wilson approach. *Journal of Sports Economics*, 11(6):641–651.
- Barros, C. P., del Barrio, P. G., and Leach, S. (2009). Analysing the technical efficiency of the spanish football league first division with a random frontier model. *Journal of Sports Economics*, 41(25):3239–3247.
- Barros, C. P. and Leach, S. (2006). Performance evaluation of the english premier football league with data envelopment analysis. *Applied Economics*, 38(12):1449–1458.
- Barros, C. P. and Leach, S. (2007). Technical efficiency in the english football association premier league with a stochastic cost frontier. *Applied Economics Letters*, 14(10):731–741.
- Boscá, J. E., Liern, V., Martínez, A., and Sala, R. (2009). Increasing offensive or defensive efficiency? an analysis of italian and spanish football. *The International Journal of Management Science*, 37:63–78.
- Bowman, R. A., Lambrinos, J., and Ashman, T. (2012). Competitive balance in the eyes of the sports fan: Prospective measures using point spreads in the nfl and nba. *Journal of Sports Economics*, 14(5):498–520.
- Buraimoa, B. and Simmons, R. (2009). A tale of two audiences: Spectators, television viewers- and outcome uncertainty in spanish football. *Journal of Economics and Business* (2009), 61:326–338.
- Criado, R., García, E., Pedroche, F., and Romance, M. (2013). A new method for comparing rankings through complex networks: Model and analysis of competitiveness of major european soccer leagues. *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*, 23(043114).
- Dawson, P., Dobson, S., and Gerrard, B. (2000). Stochastic frontiers and the temporal structure of managerial efficiency in english soccer. *Journal of Sports Economics*, 1(4):341–362.
- Fort, R. and Maxcy, J. (2003). Competitive balance in sports leagues: An introduction. *Journal of Sports Economics*, 4(3):154–160.

- Gasparetto, T. (2012). Relação entre custo operacional e desempenho esportivo: análise do campeonato brasileiro de futebol. *Rev Bras Futebol Jul-Dez; (2): 28-40*, 05(2):28–40.
- Haas, D. J. (2003). Productive efficiency of english football teams - a data envelopment analysis approach. *Managerial and Decision Economics*, 24:403–410.
- Lee, T. (2010). Competitive balance in the national football league after the 1993 collective bargaining agreement. *Journal of Sports Economics*, 11(1):77–88.
- Madalozzo, R. and Villar, R. B. (2009). Brazilian football: What brings fans to the game? *Journal of Sports Economics*, 10(6):639–650.
- Pedroche, F., Criado, R., Garcia, E., Romance, M., and Sanchez, V. E. (2015). Comparing séries of rankins with ties by using complex networks: An analysis of the spanish stock market (ibex-35 index). *Networks and Heterogeneous media*, 10(1):101–125.
- Zimbalist, A. S. (2002). Competitive balance in sports leagues: An introduction. *Journal of Sports Economics*, 3(2):111–121.

Classificação de Relações Sociais para Melhorar a Detecção de Comunidades

Jeancarlo C. Leão, Michele A. Brandão, Pedro O. S. Vaz de Melo,
Alberto H. F. Laender

¹Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) – Belo Horizonte – MG

{jcl,micheleabrandao,olmo,laender}@dcc.ufmg.br

Abstract. *Social relationships can be divided into different classes based on the regularity with which they occur and the similarity among them. In this context, we propose a process to handle social network data that exploits temporal features to improve the detection of communities by existing algorithms. By removing random interactions, we observe that social networks converge to a topology with more purely social relationships and more modular communities.*

Resumo. *Relacionamentos sociais podem ser separados em diferentes classes pela regularidade com que ocorrem e pela similaridade entre eles. Neste contexto, propomos um processo para tratamento de dados de redes sociais que explora as características temporais para melhorar a detecção de comunidades por algoritmos existentes. Por meio de um processo de remoção de interações aleatórias, observamos que as redes sociais convergem para uma topologia com interações mais puramente sociais e comunidades com maior modularidade.*

1. Introdução

Redes sociais dinâmicas geralmente passam por alterações em sua estrutura decorrente das interações entre seus membros ao longo do tempo. Tais redes sociais podem ser representadas por um grafo temporal, no qual os vértices representam suas entidades e as arestas, as interações, associadas ao tempo em que ocorreram. Nesse tipo de rede, a detecção de comunidades tem sido pouco estudada. Em geral, a própria rede temporal é utilizada como entrada para algoritmos que encontram as comunidades explorando diretamente a sua dimensão temporal. A detecção de comunidades em tais redes difere de como é feito em uma rede social estática, onde a dimensão temporal é adequada ou simplesmente ignorada.

Muitos estudos sobre detecção de comunidades utilizam grafos estáticos em razão da maior dificuldade em considerar o aspecto temporal. Entretanto, não considerar o aspecto temporal gera perda de informação em relação à ordem e proximidade das interações [Holme & Saramäki 2012]. Essa simplificação causa ruído informacional nas relações sociais, o que pode gerar erros na associação de membros às suas respectivas comunidades. Por exemplo, considere um grupo de pessoas que não se conheciam e trocam muitas mensagens eletrônicas em um único dia, mas depois não voltam a se comunicar novamente. Agora considere um outro grupo de pessoas que trocam muitas mensagens regularmente ao longo de anos. Apesar dos relacionamentos entre os membros de ambos os grupos possuírem uma mesma topologia quando se considera uma rede estática, a dimensão temporal permite diferenciar a existência ou não de uma comunidade.

Uma propriedade fundamental compartilhada pelas diferentes definições de comunidade¹ em redes sociais é a presença de relações sociais reais [Newman 2006], que geralmente ocorrem ao longo do tempo [Vaz de Melo et al. 2015]. Isso motiva o uso da dimensão temporal na identificação de comunidades a partir de redes puramente sociais. Assim, ao invés de desenvolver novos algoritmos para detecção de comunidades, neste artigo propomos um método para favorecer aqueles já existentes explorando-se propriedades temporais.

Mais especificamente, propomos um processo que avança a detecção de comunidades em redes estáticas a partir do uso da dimensão temporal. Para isso, removemos as interações aleatórias que representam ruído quando mapeadas em redes estáticas. Então, a rede resultante dessa filtragem é constituída apenas por relações sociais regulares e, assim, as suas estruturas sociais tornam-se mais aparentes. Isso naturalmente implica em um aumento da modularidade² da rede, que é uma medida da força da divisão de uma rede em módulos (ou comunidades). Redes com alta modularidade têm conexões densas entre os nós dentro de módulos, mas escassas conexões entre nós em diferentes módulos. Mostramos que o método proposto aumenta significativamente a modularidade da rede quando essa é dividida em comunidades por algoritmos de detecção de comunidades do estado da arte. Assim, a contribuição principal deste trabalho é um processo de mineração de relações sociais que promove a obtenção de comunidades com maior modularidade por algoritmos já existentes na literatura.

O restante deste artigo está organizado da seguinte forma. A Seção 2 apresenta uma breve revisão de trabalhos relacionados. A seguir, a Seção 3 apresenta a modelagem adotada para representação das redes sociais consideradas e os conjuntos de dados utilizados nos experimentos, bem como descreve os algoritmos selecionados para a avaliação na detecção de comunidades. Em seguida, a Seção 4 descreve o processo proposto para melhorar a detecção de comunidades. A Seção 5 apresenta os resultados experimentais obtidos. Finalmente, a Seção 6 apresenta as conclusões principais e considerações sobre trabalhos futuros.

2. Trabalhos Relacionados

Em redes complexas, uma comunidade pode ser vista como grupos de nós densamente interconectados, mas são esparsamente conectados com o restante da rede [Abrahao et al. 2012, Brandão & Moro 2017a, Newman 2004]. Existem diferentes algoritmos de detecção de comunidades em grafos [Abrahao et al. 2012, Blondel et al. 2008, Clauset et al. 2004, Newman 2004, Newman & Girvan 2004, Raghavan et al. 2007]. Entretanto, tais algoritmos não consideram o aspecto temporal das interações.

Considerar o aspecto temporal no estudo de interações sociais é importante, pois revela propriedades e padrões que não podem ser percebidos sem considerar tal característica. De fato, Holme e Saramäki [2012] mostram como o aspecto temporal pode ser representado em grafos estáticos e demonstram as implicações desse mapea-

¹Não há uma definição universalmente aceita para a estrutura de comunidade [Fortunato 2010, Palla et al. 2005] que provou ser difícil de se definir, quantificar e extrair [Abrahao et al. 2012].

²A modularidade caracteriza a existência de uma estrutura de comunidade em uma rede. Tal métrica leva em consideração a proporção de arestas entre os nós em uma mesma comunidade e em comunidades diferentes [Newman 2006, Newman & Girvan 2004].

mento, enquanto Vaz de Melo et al. [2015] abordam a classificação de relações baseada em propriedades temporais em redes de mobilidade. Outros estudos consideram a agregação temporal para analisar a evolução das redes de colaboração [Alves et al. 2013, Barabási et al. 2002]. Abrahao et al. [2012] e Xie et al. [2013] apresentam uma análise abrangente das propriedades das comunidades obtidas por diversos algoritmos e mencionam a necessidade de melhorias na tarefa de detecção.

Especificamente, este trabalho baseia-se na técnica proposta por Vaz de Melo et al. [2015] que obtém classes de relações sociais em grafos temporais. Com o uso dessa técnica, investigamos os efeitos da presença de interações aleatórias em redes sociais reais de domínios distintos. Para isso, removemos o ruído causado nas redes pela presença de tais relações aleatórias. Esse processo tornou as relações sociais reais disponíveis para aplicação de técnicas existentes de detecção de comunidades³. Após essa etapa de mineração das relações, avaliamos os resultados de diferentes algoritmos de detecção de comunidades. Tal avaliação vai além da simples comparação dos resultados obtidos na detecção de comunidades por algoritmos distintos, mas também mede as melhorias obtidas por cada um deles.

Neste artigo, tal melhoria é medida com a métrica *modularidade*, que é comumente usada no processo de validação de métodos de detecção de comunidades [Fortunato 2010, Newman 2006, Orke et al. 2013, Yang et al. 2016]. A modularidade tem sido utilizada para comparar a qualidade de algoritmos de detecção de comunidades em diferentes redes e em diversas áreas de aplicação [Lambiotte et al. 2008, Newman & Girvan 2004, Radicchi et al. 2004, Raghavan et al. 2007, Sah et al. 2014, Šubelj & Bajec 2011, Wang et al. 2015]. Além disso, muitos algoritmos de detecção de comunidades usam a modularidade em sua lógica como métrica a ser maximizada no processo de detecção [Clauset et al. 2004, Barber & Clark 2009, Liu & Murata 2010, Schuetz & Caffisch 2008].

Dessa forma, nosso trabalho difere dos existentes por não apenas detectar comunidades [Abrahao et al. 2012, Blondel et al. 2008, Clauset et al. 2004, Newman 2006, Yang et al. 2016], mas também por investigar como a mineração das relações influencia na qualidade (medida com a modularidade) do resultado de tais algoritmos. Ademais, apresentamos análises para diferentes tipos de redes sociais.

3. Materiais e Métodos

As redes complexas temporais utilizadas para detecção de comunidades podem ser modeladas por grafos de agregação temporal [Vaz de Melo et al. 2015]. Dado um grafo não direcionado $G = (V, E)$, em que $V = \{v_1, \dots, v_n\}$ é o conjunto de vértices e $E = \{e_1, \dots, e_m\}$ o conjunto de arestas que representam uma interação entre dois vértices, o problema de detecção de comunidades consiste em encontrar o conjunto de comunidades $C = \{c_1, c_2, \dots, c_k\}$ em que cada vértice v_i associa-se a uma comunidade $c_i \in C$. Cada grafo temporal $G_t(V_t, E_t)$ em G representa a agregação das interações em períodos discretos de tempo t . Assim, para um dado valor de t , V_t são todos os vértices que interagiram no t -ésimo período de tempo. As arestas no conjunto E_t representam o emparelhamento das interações entre os pares de vértices (v_i, v_j) durante o período de tempo t .

³São muitas as abordagens utilizadas por diversos algoritmos de detecção de comunidades [Brandes et al. 2008, Sah et al. 2014, Wang & Hopcroft 2010]

Tabela 1. Propriedades das redes estudadas

<i>Rede</i>	<i>Período</i>	<i>V</i>	<i>E</i>	<i>D</i>	<i>CC</i>	$\Delta(G)$	$\alpha(G)$
<i>PubMed</i>	00-16(1)	4×10^5	6×10^6	6×10^{-5}	0.4	3246	25.0
<i>DBLP</i>	00-15(1)	9×10^5	5×10^6	9×10^{-6}	0.2	1413	8.3
<i>Dartmouth</i>	2(2)	1×10^3	3×10^4	4×10^{-2}	0.5	236	46
<i>USC</i>	2(2)	3×10^3	2×10^5	5×10^{-2}	0.5	652	128

V: número de vértices; *E*: número de arestas;

D: densidade; *CC*: coeficiente de clusterização;

$\Delta(G)$: grau máximo; $\alpha(G)$: grau médio;

DBLP e *PubMed*: redes de colaboração científica;

Dartmouth e *USC*: redes de mobilidade em *campi* universitários;

(1): ano inicial - ano final; (2): número de meses.

Esse modelo de grafo temporal foi aplicado a redes sociais reais de colaboração científica derivadas de dados da DBLP e PubMed [Brandão & Moro 2017b]⁴, e de redes *WiFi* de mobilidade de *campi* universitários (Dartmouth e USC) [Vaz de Melo et al. 2015]. A Tabela 1 apresenta as propriedades de cada uma dessas redes, onde, respectivamente, os nós representam pesquisadores ou usuários do sistema e as arestas, coautoria ou pontos de acesso de rede sem fio. Essas redes temporais foram submetidas ao processo de mineração de relações sociais e também foram utilizadas na avaliação desse processo. Em tais redes, as interações são agregadas e associadas à data em que ocorreram.

Utilizando essas redes sociais temporais, aplicamos algoritmos de detecção de comunidades e comparamos a medida de modularidade das comunidades detectadas na rede original com a modularidade das comunidades da rede filtrada. Note que a métrica modularidade foi escolhida por ser mais utilizada na avaliação de algoritmos de detecção de comunidades [Fortunato 2010] e ser objeto de maximização por grande parte de tais algoritmos no estado da arte [Blondel et al. 2008, Clauset et al. 2004, Newman 2004, Raghavan et al. 2007]. Adicionalmente, foi feita uma comparação com a modularidade das comunidades obtidas de amostras da rede original, ou seja, construídas pela remoção aleatória de arestas até atingir o tamanho da rede filtrada. Estas redes amostrais permitiram comparar o processo proposto com um método estocástico de remoção de arestas.

Baseando-se no estado da arte em detecção de comunidades, selecionamos diferentes algoritmos para a etapa de comparação entre a modularidade das comunidades antes e após a remoção do ruído. Esses algoritmos são brevemente descritos a seguir.

Louvain Modularity. É um algoritmo guloso popular para otimização de modularidade. Inclui cada nó da rede em um grupo que resulte na melhoria da medida de modularidade local [Abraham et al. 2012, Blondel et al. 2008, Newman 2004].

⁴PubMed (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>): constitui de colaborações científicas da MEDLINE; Conferências da DBLP (<http://dblp.org/>): rede de coautoria científica em ciência da computação, descrita por [Brandão & Moro 2017b]. Compõe-se de colaborações ocorridas no período de 2000 a 2016.

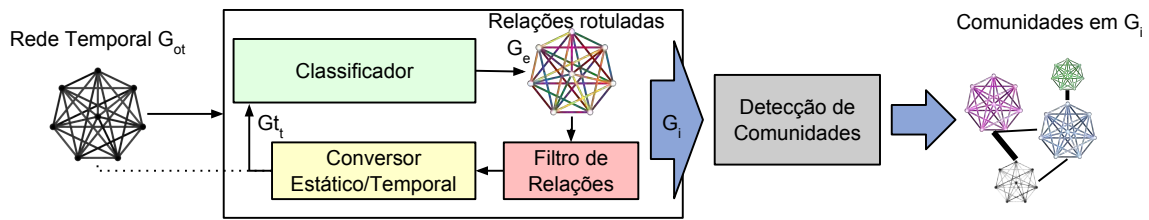


Figura 1. Visão geral do processo de mineração de relações sociais que resulta em um grafo estático filtrado G_i , para a tarefa de detecção de comunidades.

Edge Betweenness. Este algoritmo descobre comunidades em redes pelo particionamento de nós em subgrupos densamente conectados [Newman & Girvan 2004]. Baseia-se na remoção iterativa de arestas da rede a partir de uma medida de intermediação de arestas (*betweenness*) que é recalculada após cada remoção.

Greedy Optimization of Modularity (GOM). Este algoritmo baseia-se na maximização da modularidade usando uma abordagem gulosa [Clauset et al. 2004]. Em uma primeira etapa, ele identifica uma estrutura hierárquica de comunidades. As comunidades são então extraídas do corte dessa estrutura que maximiza globalmente a modularidade.

Label Propagation. Este algoritmo utiliza etiquetas que identificam as comunidades. Os nós são etiquetados e por propagação iterativa cada nó tem sua etiqueta atualizada consensualmente pela que prevalece entre os vizinhos. Ao final, os nós com as mesmas etiquetas representam uma mesma comunidade [Raghavan et al. 2007].

Um cálculo simples foi utilizado para identificar o erro na detecção de comunidades pelos algoritmos selecionados, quando a rede possui interações aleatórias. Para as comunidades obtidas de um mesmo algoritmo, é feita a contagem do número de nós que trocaram de comunidades após a filtragem. Dada uma rede original R_o e uma rede filtrada R_n , onde n é a iteração em que houve convergência no processo de mineração de relações sociais. Cada comunidade cn_i detectada em R_n , é comparada com a comunidade mais semelhante⁵ co_j em R_o . A contagem do número de membros que estão em R_n e não estão em R_o corresponde ao erro local à comunidade cn_i . Do somatório dos erros locais é obtido o erro global da rede R_o . Nesta comparação, também foi calculada a precisão e revocação [Baeza-Yates et al. 1999] das comunidades detectadas para análise de relevância da filtragem.

4. Mineração de Relações

Nesta seção, detalhamos o processo de mineração de relações sociais que permite remover o ruído das redes, causado pela presença de interações aleatórias e, conseqüentemente, diminuir o erro na associação dos nós às comunidades. A Figura 1 detalha as etapas para realização desse processo de mineração que são: (i) classificação das relações; (ii) remoção de arestas aleatórias; e (iii) reconstrução do grafo temporal que é a entrada para a iteração seguinte. Ao final das iterações, quando não existem mais arestas aleatórias,

⁵Dado um grafo A e um grafo B obtido da filtragem de A pelo processo de mineração de relações sociais. A medida de semelhança utilizada entre duas comunidades C_A e C_B baseia-se no número de nós de C_B que estão em C_A .

Algorithm 1 Processo de mineração de relações sociais**Require:** Go_t : Grafo Temporal Original**Input:** Go_t, k

```

1:  $Gt_t \leftarrow Go_t$ 
2: for  $i = 1, i < k$  do
3:    $G_e \leftarrow recast(G1_t)$ 
4:   if  $converge(G_e, Gt_t)$  then
5:     break
6:   end if
7:    $Gt_t \leftarrow remove\_aleatorias(G_e, Gt_t)$ 
8: end for

```

Tabela 2. Percentuais de alteração nas métricas das redes sociais

Rede	I	V	E	C1	C2	C3	C4	D	CC	Δ	α
<i>PubMed</i>	6 ^a	91	68	96	111	91	0	82	173	35	75
<i>DBLP</i>	3 ^a	60	38	215	20	80	0	104	98	14	63
<i>Dartmouth</i>	6 ^a	76	13	21	72	1	0	22	102	15	17
<i>USC</i>	4 ^a	12	1	5	68	1	0	55	92	7	6

 I : iteração em que obteve o percentual em relação à rede original. V : vértices, E : arestas. $C1 - C4$: classes de relações (amizade, ponte, conhecido e aleatório) D : densidade, CC : coeficiente de clusterização. $\Delta(G)$: grau máximo, $\alpha(G)$: grau médio.

obtem-se o grafo estático constituído apenas por relações sociais. Tal grafo estático permite que comunidades mais modulares sejam detectadas por algoritmos desenvolvidos para essa finalidade.

A visão geral do processo de mineração de relações sociais é apresentada no Algoritmo 1, onde os dados de entrada são as interações do grafo temporal original Go_t . Em cada iteração do algoritmo, primeiro são classificadas as arestas (linha 3), resultando em um grafo estático de relações rotuladas G_e . Em seguida, é feita a verificação de convergência e se ainda existirem arestas aleatórias para serem removidas, o procedimento que faz a separação e reconstrução do grafo temporal Gt_t é chamado (linha 7).

Para classificar as arestas a partir de interações temporais, foi utilizado o algoritmo *RECAST* (*Random Relationship Classifier Strategy*) que é uma técnica de classificação de arestas a partir de interações temporais. Esse classificador foi proposto por Vaz de Melo et al. [2015] e é capaz de caracterizar claramente interações aleatórias além de identificar diferentes tipos de interação social (amizade, ponte e conhecido). O *RECAST* baseia-se em duas características que estão sempre presentes nas relações sociais: a regularidade das interações e a similaridade entre os pares, isto é, o número de indivíduos conhecidos em comum. A partir dessas características, o *RECAST* atribui, para pares únicos de vértices (u, v) que se interagem, uma das classes de relações.

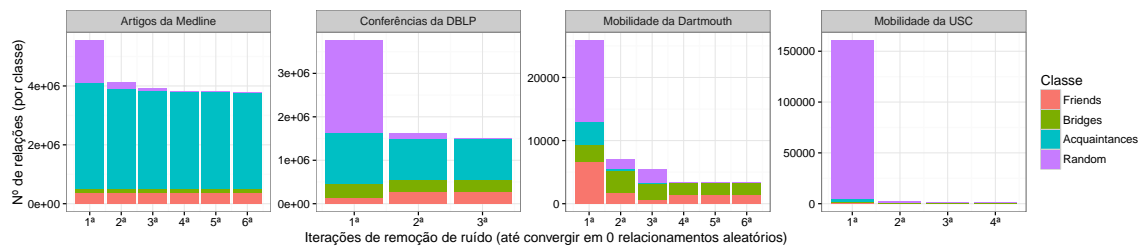


Figura 2. Classes de relações ao final de cada iteração de confirmação de convergência do processo de mineração de relações sociais.

Tabela 3. Percentuais obtidos com a remoção do ruído - Algoritmo GOM

Rede	Remoções		Correções/Aprimoramentos		Ganho	
	Ruído	Erro	Precisão	Revocação	$F1$	Modularidade
<i>PubMed</i> ₁₋₆	32	54	55	43	48	+26
<i>DBLP</i> ₁₋₃	62	41	49	30	37	+32
<i>Dartmouth</i> ₁₋₆	87	9	10	3	4	+38
<i>USC</i> ₁₋₄	99	2	13	3	5	+38

Ruído: removido, representado por interações aleatórias (percentual de arestas)

Erro: na associação de nós em comunidades (percentual de reposicionamentos).

5. Resultados Experimentais

As comunidades obtidas por cada combinação de algoritmo e rede selecionados foram caracterizadas pela sua modularidade dentre outras métricas de análise de redes sociais. Essa análise também foi feita sobre a versão filtrada da rede, isto é, após a remoção completa das arestas aleatórias. Conforme mostra a Tabela 2, ocorreram diferentes percentuais de alteração entre as redes selecionadas. Analisando separadamente cada rede, é possível distingui-las pela aleatoriedade total das relações.

As redes de mobilidade são as que possuem maior proporção de relações aleatórias. Além disso, são da classe aleatória a maioria das suas relações (coluna E da Tabela 3). Nessas redes, prevalece também o número de nós em que todas as suas relações são aleatórias. Como consequência disso, esses nós são desconectados da rede por não participarem socialmente de uma comunidade. Assim, ao comparar as comunidades obtidas das redes filtradas com as obtidas das redes originais, o erro está presente em pequena quantidade, conforme mostra Tabela 3.

Também na Tabela 3, verifica-se que a relevância das comunidades filtradas é maior para as redes de colaboração científica. A métrica proposta para cálculo de erro parte do pressuposto que cada comunidades da rede filtrada é um subconjunto de uma comunidade nas redes originais e que estas podem ser subdivididas. Em geral, as redes de mobilidade e de colaboração científica são distintas em quantidade de ruído e no impacto que este ruído provoca na formação das comunidades. Assim, as redes de colaboração científica possuem menor proporção de ruído contudo, este ruído provoca uma proporção maior de associações incorretas dos membros (coautores) às suas respectivas comunidades. De forma oposta, as redes de mobilidade possuem maior aleatoriedade nas relações e menor erro nas comunidades detectadas.

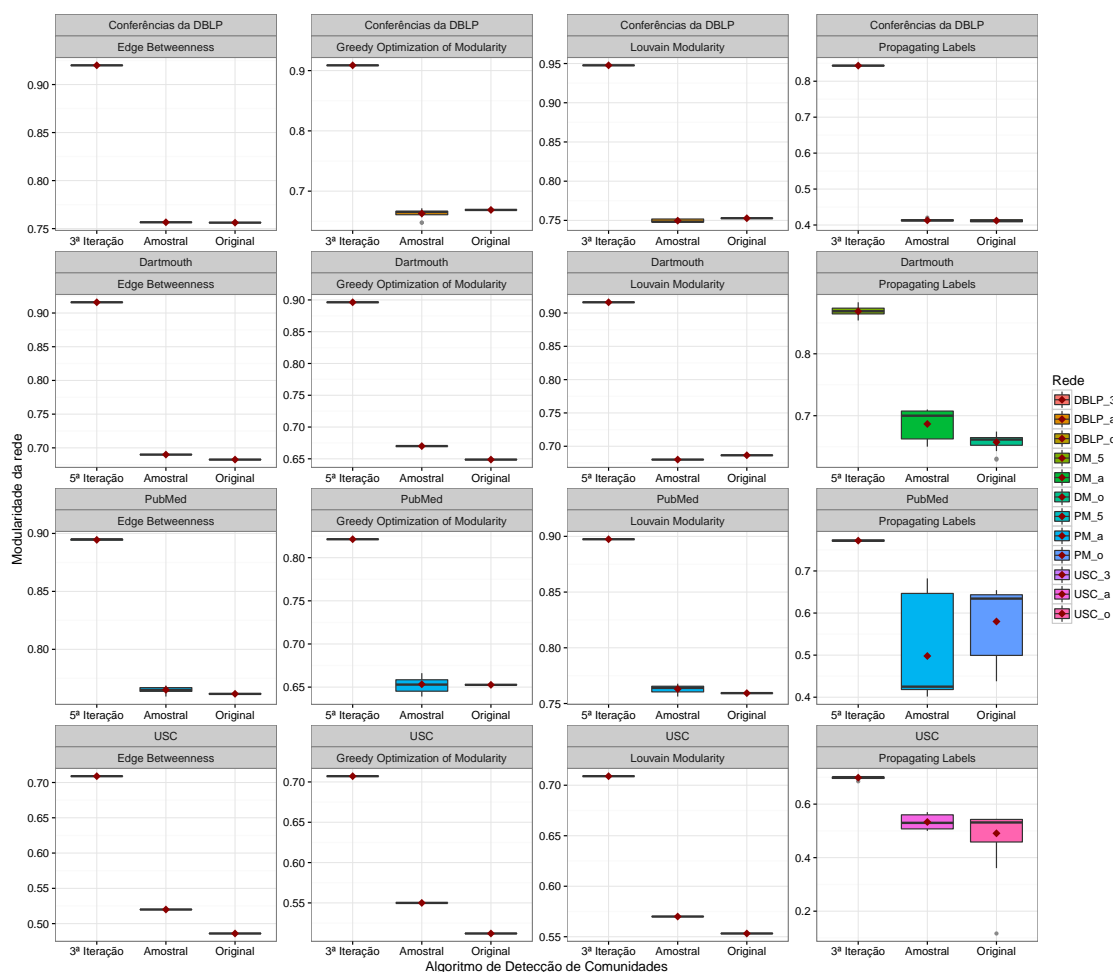


Figura 3. Comparação entre a modularidade das comunidades na rede original (o), na sua amostra (a) e na rede filtrada até a n -ésima iteração do processo de mineração de relações sociais.

Com base nas redes sociais estudadas, foi possível verificar o comportamento do algoritmo *RECAST* em redes reais. Conforme mostra a Figura 2, a maioria das relações aleatórias foram removidas na primeira iteração do processo de mineração de relações sociais. Ademais, houve um ganho em modularidade nas comunidades detectadas a cada iteração. O grau máximo das redes sociais também foi afetado na proporção inversa à quantidade de ruídos removidos. Além disso, o grau dos *hubs* foi reduzido em proporção maior do que a dos demais nós da rede.

Após a remoção das arestas aleatórias, houve um aumento significativo na modularidade das comunidades obtidas pelos algoritmos selecionados em cada uma das quatro redes estudadas, conforme mostra a Figura 3. O ganho médio em modularidade das comunidades detectadas pelo algoritmo GOM - *Greedy Optimization of Modularity*⁶ é apresentado na Tabela 3. Apesar de tal algoritmo obter um dos menores ganhos em modularidade, há uma correlação positiva desse ganho com a proporção de ruído removido. Essa correlação também ocorre nas demais redes, conforme médias de modularidade apresentadas na Figura 3 e da proporção de arestas removidas apresentada na Figura 2.

⁶GOM foi exemplificado por ser determinístico, simplificar a apresentação e por obter menor ganho.

6. Conclusões

A principal contribuição deste trabalho é representada por um processo de mineração de relações sociais que remove ruído em grafos temporais. Esse processo baseia-se na classificação de arestas aleatórias e na construção de um grafo estático composto apenas por interações sociais. Especificamente, desenvolvemos um arcabouço que utiliza o algoritmo *RECAST* para classificação das relações. Esse processo foi aplicado e avaliado sobre redes temporais reais de colaboração científica e de mobilidade. Analisamos diferentes métricas de redes sociais sobre cada rede social e para as redes resultantes do processo de mineração.

A aplicação do processo convergiu na remoção total do ruído das redes e foi comprovada melhoria na detecção de comunidades por algoritmos do estado da arte. Além disso, demonstramos que a quantidade de ruído presente nas redes sociais afeta negativamente a tarefa de detecção de comunidades, pois conclui em erros na estrutura das comunidades detectadas.

Como trabalhos futuros, pretendemos detalhar a interpretação das alterações topológicas nas redes sociais com base no respectivo domínio de aplicação. Por exemplo, nós que tiveram suas relações classificadas como aleatórias poderão ser analisados qualitativamente a fim de explicar as propriedades que estão associadas à aleatoriedade e às demais classes de relações.

Agradecimentos. Este trabalho é apoiado pelos projetos InWeb (processo MCT/CNPq 573871/2008-6) e MASWeb (processo FAPEMIG/PRONEX APQ-01400-14)), e por auxílios individuais de pesquisa concedidos aos autores pelo CNPq, Fapemig e CAPES. Particularmente, o primeiro autor agradece ao Instituto Federal do Norte de Minas Gerais - IFNMG, pela concessão de uma bolsa de estudos no âmbito do Programa de Bolsas para Qualificação de Servidores (PBQS).

Referências

- [Abrahao et al. 2012] Abrahao, B., Soundarajan, S., Hopcroft, J., and Kleinberg, R. (2012). On the separability of structural classes of communities. In *Proceedings of the 18th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, KDD12, pages 624–632, New York, NY, USA. ACM.
- [Alves et al. 2013] Alves, B. L., Benevenuto, F., and Laender, A. H. (2013). The role of research leaders on the evolution of scientific communities. In *Proceedings of the 22Nd International Conference on World Wide Web, WWW '13 Companion*, pages 649–656, New York, NY, USA. ACM.
- [Baeza-Yates et al. 1999] Baeza-Yates, R., Ribeiro-Neto, B., et al. (1999). *Modern information retrieval*, volume 463.
- [Barabâsi et al. 2002] Barabâsi, A.-L., Jeong, H., Néda, Z., Ravasz, E., Schubert, A., and Vicsek, T. (2002). Evolution of the social network of scientific collaborations. *Physica A: Statistical mechanics and its applications*, 311(3):590–614.
- [Barber & Clark 2009] Barber, M. J. and Clark, J. W. (2009). Detecting network communities by propagating labels under constraints. *Phys. Rev. E*, 80:026129.
- [Blondel et al. 2008] Blondel, V. D., Guillaume, J.-L., Lambiotte, R., and Lefebvre, E.

- (2008). Fast unfolding of communities in large networks. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, 2008(10):P10008.
- [Brandão & Moro 2017a] Brandão, M. A. and Moro, M. M. (2017a). Social professional networks: A survey and taxonomy. *Computer Communications*, 100:20 – 31.
- [Brandão & Moro 2017b] Brandão, M. A. and Moro, M. M. (2017b). The strength of co-authorship ties through different topological properties. *Journal of the Brazilian Computer Society*, 23(1):5.
- [Brandes et al. 2008] Brandes, U., Delling, D., Gaertler, M., Gorke, R., Hoefer, M., Nikoloski, Z., and Wagner, D. (2008). On modularity clustering. *IEEE Trans. on Knowl. and Data Eng.*, 20(2):172–188.
- [Clauset et al. 2004] Clauset, A., Newman, M. E. J., and Moore, C. (2004). Finding community structure in very large networks. *Phys. Rev. E*, 70:066111.
- [Fortunato 2010] Fortunato, S. (2010). Community detection in graphs. *Physics Reports*, 486(3–5):75–174.
- [Holme & Saramäki 2012] Holme, P. and Saramäki, J. (2012). Temporal networks. *Physics reports*, 519(3):97–125.
- [Lambiotte et al. 2008] Lambiotte, R., Delvenne, J.-C., and Barahona, M. (2008). Laplacian dynamics and multiscale modular structure in networks. *arXiv preprint arXiv:0812.1770*.
- [Liu & Murata 2010] Liu, X. and Murata, T. (2010). Advanced modularity-specialized label propagation algorithm for detecting communities in networks. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 389(7):1493–1500.
- [Newman 2006] Newman, M. E. (2006). Modularity and community structure in networks. *Proceedings of the national academy of sciences*, 103(23):8577–8582.
- [Newman 2004] Newman, M. E. J. (2004). Detecting community structure in networks. *The European Physical Journal B*, 38(2):321–330.
- [Newman & Girvan 2004] Newman, M. E. J. and Girvan, M. (2004). Finding and evaluating community structure in networks. *Phys. Rev. E*, 69(2):26113.
- [Orke et al. 2013] Orke, R. G., Maillard, P., Schumm, A., Staudt, C., Wagner, D., Görke, R., Maillard, P., Schumm, A., Staudt, C., and Wagner, D. (2013). Dynamic graph clustering combining modularity and smoothness. *Journal of Experimental Algorithmics (JEA)*, 18(1):1–5.
- [Palla et al. 2005] Palla, G., Derenyi, I., Farkas, I., and Vicsek, T. (2005). Uncovering the overlapping community structure of complex networks in nature and society. *Nature*, 435(7043):814–818.
- [Radicchi et al. 2004] Radicchi, F., Castellano, C., Cecconi, F., Loreto, V., Parisi, D., and Fisica, D. (2004). Defining and identifying communities in networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101(9):2658–2663.
- [Raghavan et al. 2007] Raghavan, U. N., Albert, R., and Kumara, S. (2007). Near linear time algorithm to detect community structures in large-scale networks. *Physical review E*, 76(3):1–12.
- [Sah et al. 2014] Sah, P., Singh, L. O., Clauset, A., and Bansal, S. (2014). Exploring community structure in biological networks with random graphs. *BMC Bioinformatics*, 15(1):220.
- [Schuetz & Cafilisch 2008] Schuetz, P. and Cafilisch, A. (2008). Efficient modularity optimization by multistep greedy algorithm and vertex mover refinement. *Physical Review E*, 77(4):046112.

- [Šubelj & Bajec 2011] Šubelj, L. and Bajec, M. (2011). Unfolding communities in large complex networks: Combining defensive and offensive label propagation for core extraction. *Physical Review E*, 83(3):036103.
- [Vaz de Melo et al. 2015] Vaz de Melo, P. O. S., Viana, A. C., Fiore, M., Jaffrès-Runser, K., Mouël, F. L., Loureiro, A. A. F., Addepalli, L., and Guangshuo, C. (2015). RECAST: Telling Apart Social and Random Relationships in Dynamic Networks. *Performance Evaluation*, 87:19–36. ”Special Issue: Recent Advances in Modeling and Performance Evaluation in Wireless and Mobile Systems”.
- [Wang & Hopcroft 2010] Wang, L. and Hopcroft, J. (2010). Community structure in large complex networks. In *International Conference on Theory and Applications of Models of Computation*, pages 455–466. Springer.
- [Wang et al. 2015] Wang, M., Wang, C., Yu, J. X., and Zhang, J. (2015). Community detection in social networks: an in-depth benchmarking study with a procedure-oriented framework. *Proceedings of the VLDB Endowment*, 8(10):998–1009.
- [Xie et al. 2013] Xie, J., Kelley, S., and Szymanski, B. K. (2013). Overlapping Community Detection in Networks : The State-of-the-Art and Comparative Study. *ACM Computing Surveys (csur)*, 45(4):43.
- [Yang et al. 2016] Yang, Z., Algesheimer, R., and Tessone, C. J. (2016). A Comparative Analysis of Community Detection Algorithms on Artificial Networks. *Nature Publishing Group*, (August):1–16.

Seleção de Técnicas de Mineração de Dados para Segmentação de Mercado

Gabriel G.M.S. de Magalhães¹, Fernanda Lima², Eduardo F. Santos¹, Paulo Junior¹,
Lucas Rosa¹

¹Agência Espacial Brasileira – AEB
SPO Quadra 5, bloco Q – Brasília – DF – Brazil

²Universidade de Brasília – UnB
Departamento de Ciência da Computação – CIC
Campus Universitário Darcy Ribeiro – Brasília/DF – Brasil, CEP 70910-900

`gabrielgmsm@gmail.com, ferlima@cic.unb.br`

`{eduardo.santos, paulo.junior, lucas.rosa}@aeb.gov.br`

Abstract. *Market segmentation process is used to gather information about consumer to help specific marketing strategies. As the Brazilian Space Agency is a public organization which depends on investments, it is necessary to know the interested citizen profile, making possible to find out if the investments on the Space Program are getting to their knowledge. There are works about data mining on market segmentation, but they are spread around different sources. This research seeks a possible classification for data mining techniques in market segmentation, using systematic review approach. This review analysis presents a classification proposal for market segmentation data mining techniques to be applied in the profiles of the Brazilian Space Program interest population.*

Resumo. *O processo de segmentação de mercado é utilizado para obter conhecimento sobre os consumidores e ajudar na construção de estratégias de marketing mais específicas. Sendo a Agência Espacial Brasileira uma organização pública dependente de investimento, é preciso conhecer o perfil do cidadão interessado para validar se os investimentos realizados no Programa Espacial estão chegando a seu conhecimento. Existem trabalhos que tratam da aplicação de mineração de dados para processos de segmentação de mercado, porém, estão espalhados pela literatura. O trabalho busca, de maneira sistemática, encontrar uma possível classificação das técnicas de mineração de dados que vêm sendo empregadas para processos de segmentação de mercado. A análise das técnicas encontradas apresenta como resultado uma proposta de classificação das técnicas de mineração de dados para segmentação de mercado a ser aplicada ao perfil da população de interesse do Programa Espacial Brasileiro.*

1. Introdução

A Agência Espacial Brasileira (AEB) administra a política espacial brasileira, como o desenvolvimento de planos de veículos lançadores, aplicações de satélites e centros de lançamento. De tudo o que é produzido, constata-se que a população brasileira, em geral, não conhece a atuação ou compreende a relevância para o país do que a AEB produz. É necessário, então, que a agência busque novas formas de aproximação com a

população, com um processo de divulgação eficaz e um fortalecimento de sua imagem [Rollemberg et al. 2010].

No intuito de avaliar qual o perfil da população de interesse para a AEB e validar se os investimentos realizados no Programa Espacial estão chegando a seu conhecimento, um processo de segmentação de mercado pode ser explorado. Tal processo pode aproveitar-se de dados disponíveis na Internet, com soluções de mineração de dados para a extração e análise destes dados, de modo a revelar quais são características comuns de cada grupo encontrado.

Segmentação de mercado trata da busca por novas oportunidades ao se conhecer com mais propriedade os clientes de determinado negócio [Beane and Ennis 1994]. Tanto em órgãos privados quanto em órgãos públicos essa estratégia tem sido utilizada e, apesar da diferença entre os objetivos, para ambos existem aplicações de segmentação de mercado que são benéficas [Capon 1981].

Para se realizar o processo de segmentação de mercado é possível aplicar técnicas de mineração de dados, que tratam de extrair conhecimento de uma base de dados, por meio de algoritmos e análises probabilísticas [Liao et al. 2012]. Se faz necessário, então, entender o processo e conhecer quais são as técnicas e os principais trabalhos existentes na literatura que darão base para a realização de um processo de segmentação de mercado.

O presente estudo busca identificar, de maneira sistemática, a partir de revisões publicadas nos últimos seis anos, quais são as principais técnicas de mineração de dados que podem ser aplicadas à segmentação de mercado. Na segunda seção, apresenta uma revisão dos principais conceitos de segmentação de mercado e mineração de dados. Na terceira seção, propõe uma metodologia para a busca de trabalhos e classificação das técnicas; na quarta seção, apresenta o processo de pesquisa; na quinta seção os resultados alcançados e por fim conclui o trabalho com sugestões futuras.

2. Referencial Teórico

A seção apresenta as técnicas de segmentação de mercado e mineração de dados a serem aplicadas no processo de identificação do perfil da população que o Programa Espacial Brasileiro tenta atingir.

2.1. Segmentação de Mercado

A segmentação de mercado trata do estudo e posterior agrupamento de indivíduos de acordo com características em comum para uma abordagem de marketing direcionada a cada grupo identificado [Smith 1956]. Segundo Beane e Ennis [Beane and Ennis 1994], que fizeram uma revisão dos principais trabalhos a respeito de segmentação de mercado, as principais motivações para uma segmentação de mercado são:

1. Procurar por novas oportunidades para produtos ou áreas que poderão ser receptivas a um reposicionamento de produtos;
2. Criar mensagens publicitárias aperfeiçoadas ao se obter um melhor entendimento de seus clientes.

A segmentação ocorre de acordo com uma escolha de variáveis prévias, que podem ser de cunho (1) geográfico; (2) demográfico, como classe social, raça, gênero e outros; (3) psicográfico, em que se abordam características intrapessoais do consumidor ou

(4) comportamental, relacionadas a atitudes do consumidor em relação ao produto. Existem autores que trazem também segmentação por imagem, em que a variável é na verdade uma imagem que o consumidor possui do produto ou da marca. A segmentação comportamental pode ainda ser dividida como: (1) ocasião de compra, a segmentação pelas razões que estimulam o consumidor a utilizar o produto; (2) benefício que o consumidor enxerga em utilizar determinado produto, como prestígio, economia ou conveniência; (3) incidência de uso, trata das razões ou ocasiões que levam o consumidor a escolher determinado produto, pode ser considerada como uma extensão da segmentação por ocasião de compra e benefício; (4) status do usuário em relação ao produto, por exemplo: não usuário, usuário de primeira viagem ou usuário assíduo; (5) taxa de uso, similarmente à segmentação por status, esta se difere ao não incluir usuários que não utilizam o produto; (6) lealdade, segmentação que busca identificar o grau de lealdade de consumidores à marca/produto; (7) prontidão para compra, o quão inclinado determinado cliente está para realizar a compra, alguns clientes conhecem o produto outros estão ansiosos por comprá-lo e (8) fatores de mercado, como os clientes reagem a estímulos do mercado, como diminuição do preço, ofertas e ações de marketing [Beane and Ennis 1994].

Um processo de segmentação de mercado busca, então, agrupar os consumidores em uma ou mais dessas formas apresentadas, podendo ser *a priori*, em que os segmentos já são escolhidos previamente, ou *post hoc*, em que os segmentos são identificados após análise dos dados [Beane and Ennis 1994].

2.2. Mineração de Dados

O processo de mineração de dados envolve a extração de conhecimento a partir de uma grande quantidade de dados. Esse tipo de segmentação pode ser realizada sobre dados estruturados, não-estruturados ou semi-estruturados na busca por padrões, a partir da utilização de conhecimentos interdisciplinares nas áreas de estatística, computação e demais áreas ligadas à aplicação do processo de mineração, como Marketing [Liao et al. 2012, Mukhopadhyay et al. 2014, Ziafat and Shakeri 2014].

O modelo chamado CRISP-DM, traz as fases fundamentais de um processo de mineração de dados, independente da indústria em que é aplicada. Essas fases são: o entendimento do negócio; o entendimento dos dados; a preparação dos dados; a criação de um modelo; a avaliação do modelo e por fim a implementação do que foi construído [Wirth 2000]. Ziafat [Ziafat and Shakeri 2014] cita uma metodologia para aplicar à Segmentação de Mercado o modelo (CRISP-DM):

1. **Entender o negócio e desenhar o processo de segmentação.** Nesta etapa, são realizadas reuniões entre profissionais de marketing e cientistas de dados para um levantamento de requisitos e posterior definição de estratégias para a segmentação. Esse passo envolve, então: definir objetivos de negócio, selecionar os critérios apropriados para a segmentação, determinar a população e o nível de segmentação.
2. **Entender, preparar e enriquecer os dados.** Nesta etapa, as diversas fontes são investigadas, definindo-se quais dados serão utilizados, realiza-se a integração, agregação, validação e limpeza dos dados, assim como a transformação, redução e enriquecimento dos mesmos.
3. **Identificação dos segmentos com modelagem por *cluster*.** Nesta etapa, diversos modelos de clusterização devem ser testados na busca por distintos *clusters* que

separem os clientes. Vale lembrar que cada modelo utilizado produzirá segmentos distintos, o que não significa que estejam errados. Os resultados não serão idênticos, mas similares, convergindo para alguns segmentos. A análise envolve então a avaliação do nível de concordância entre os modelos.

4. **Avaliação e definição do perfil de cada segmento revelado.** Após a modelagem, os resultados que mais se adequam às necessidades do negócio são escolhidos para implementação. As tarefas envolvem avaliação técnica das soluções de clusterização, desenho de perfil dos *clusters* através de modelos supervisionados, utilização de pesquisas de mercado para enriquecer os segmentos comportamentais e etiquetá-los adequadamente.
5. **Implementação da solução de segmentação, projeto e aplicação das estratégias.** Neste passo, as soluções construídas são implementadas dentro da empresa para a construção de estratégias de marketing diferenciadas. Três tarefas são fundamentais neste processo: construir um modelo de pontuação para atualizar os segmentos, construir uma árvore de decisão para pontuar os segmentos e distribuir as informações dos segmentos.

3. Metodologia

A seguir é apresentada a metodologia utilizada para selecionar os trabalhos de aplicação de mineração de dados para segmentação de mercado. Esta metodologia envolve uma inicial seleção de técnicas de mineração de dados a partir da escolha de revisões sistemáticas e uma posterior classificação de trabalhos de aplicação destas técnicas em segmentação de mercado.

3.1. Seleção de Técnicas de Mineração de Dados

Para selecionar as técnicas de mineração de dados, buscando cumprir os itens 3 e 4 da lista apresentada na seção 2.2, foi realizada uma pesquisa de revisões sistemáticas de mineração de dados que pudessem estar relacionadas às fases de um processo de segmentação de mercado.

Na busca por revisões sistemáticas, já havia uma revisão que cobria o período entre 2000 e 2011 [Liao et al. 2012]. Assim, iniciou-se o trabalho com uma pesquisa manual, a partir dos termos: “Data Mining Review” que cobrisse o período de 2011 a 2017. As pesquisas são feitas pelo Google Scholar, que atravessa diversas bases de dados científicos e possui a funcionalidade de classificação por relevância. Os trabalhos são escolhidos a partir de uma análise do título e abstract, selecionando-se trabalhos que indicam se tratar de uma revisão sistemática sobre as técnicas de Mineração de Dados. Após uma seleção inicial, seguindo a metodologia apresentada por Kitchenham et. al. [Kitchenham et al. 2009], foram elaboradas cinco perguntas para garantia de qualidade dos trabalhos selecionados em alcançar os objetivos de pesquisa:

- Q1. É uma revisão que trata de técnicas para Mineração de Dados?
- Q2. É classificada como A1 ou A2?
- Q3. Os critérios de inclusão e exclusão utilizados foram descritos e são apropriados?
- Q4. Os trabalhos/estudos básicos foram adequadamente descritos?
- Q5. O trabalho pode ter aplicação em alguma parte do processo de segmentação de mercado?

A resposta para a Q2 indica qual a classificação do trabalho. Para as outras questões, a resposta pode ser 'S', quando o pesquisador acredita que a resposta é sim, 'P', quando acredita-se que responde parcialmente (50%) e 'N', quando a resposta é negativa.

Uma vez escolhidas as revisões, o modelo de classificação das técnicas é definido de modo a encontrar uma classificação que englobe grande parte dos trabalhos e onde cada trabalho é categorizado em apenas um tópico.

3.2. Seleção de Trabalhos de Segmentação de Mercado

Ao todo, 7 técnicas foram extraídas da etapa anterior, que variam desde aplicações de redes neurais a clusterização. Para cada técnica, foram avaliados quais são os trabalhos de segmentação de mercado que utilizam mineração de dados, no período de 2011 a 2017. Para cada técnica é feita uma pesquisa manual, no Google Scholar, com os termos: “nome da técnica” + “market segmentation” e seguindo os seguintes critérios de categorização dos trabalhos:

- Q6. Vem de uma fonte A1 ou A2?
- Q7. Está relacionado à Segmentação de Mercado?
- Q8. Qual é a área de aplicação do processo de segmentação de mercado?
- Q9. Qual(is) técnica(s) o trabalho aborda?
- Q10. Qual(is) algoritmo(s) o trabalho apresenta?

A resposta para a pergunta Q6 é a classificação Qualis. Para a Q7 a resposta deve ser: Geográfica, Demográfica, Psicográfica, Comportamental ou por Imagem, quando o trabalho envolve um caso de uso de segmentação de mercado; 'P' quando não possui um estudo de caso específico, mas apresenta uma técnica de mineração de dados passível de ser utilizada para segmentação de mercado ou 'N' quando não se relaciona a segmentação de mercado. A Q8 é respondida identificando a área de aplicação do processo de segmentação, *e.g.* Turismo, Alimentação, Varejo ou outros. A Q9 é respondida tendo em vista as técnicas que foram selecionadas anteriormente para a classificação e, por fim, a Q10 com os algoritmos que o autor identificou no trabalho.

4. Desenvolvimento

Da pesquisa manual realizada na primeira fase, 300 trabalhos foram avaliados. Após análise inicial, 37 artigos foram escolhidos, dos quais 6 eram de fonte A1; 10 eram B ou C e o restante não possui qualificação. Logo em seguida, foram selecionadas 4 revisões sistemáticas que estavam de acordo com os critérios estabelecidos.

4.1. Análise das Revisões Sistemáticas

O trabalho de Park et. al. [Park et al. 2012] traz uma revisão de sistemas de recomendação, que tratam de verificar a probabilidade de um cliente realizar uma compra para recomendá-lo outros produtos. Os autores escolheram artigos publicados em periódicos de 2000 a 2010 e os classificaram de acordo com os campos de atuação e as técnicas de mineração de dados. Ao todo, oito técnicas de mineração de dados foram escolhidas para a classificação: (1) Regra de Associação; (2) *Clustering*; (3) Árvore de decisão; (4) K-vizinhos próximos; (5) Redes neurais; (6) Análise de Links; (7) Regressão e (8) Outros métodos heurísticos.

O artigo de Liao et. al. [Liao et al. 2012] apresenta uma revisão de 2000 a 2011 das principais técnicas e suas aplicações de mineração de dados, dividindo em tipo de conhecimento, análise e arquitetura. As categorias são: (1) Redes Neurais; (2) Arquitetura de Algoritmos; (3) *Dynamic Prediction-Based*; (4) Análise de Arquitetura de Sistema; (5) *Intelligence Agents Systems*; (6) Modelagem; (7) Sistemas baseados em conhecimento; (8) Otimização de Sistemas e (9) Sistemas da Informação. O autor utilizou índices de palavras chave e dos *abstracts* para categorizar as técnicas, de acordo com seu conhecimento no assunto. Nenhum trabalho posterior com este formato foi encontrado.

O trabalho de Tsytsarau e Palpanas [Tsytsarau and Palpanas 2012] apresenta uma revisão voltada à análise de sentimento e mineração de Opiniões. Tal tema relaciona-se indiretamente com segmentação de mercado uma vez que a segmentação de mercado pode ser realizada através da análise do comportamento de clientes em relação a um produto. Os autores trazem, em uma tabela, uma classificação de tendências no ramo de mineração de opiniões divididos em: algoritmo utilizado, *dataset* para os testes e nos domínios alvo. Os temas identificados foram: (1) *Rule Based*; (2) Dicionário; (3) Estatística; (4) *Naive Bayes*; (5) Máxima Entropia; (6) *Support Vector Machine*; (7) *Natural Language Processing*; (8) *Latent Semantic Analysis*; (9) *Pointwise Mutual Information*; (10) Semântico; (11) *Conditional Markov Models*; (12) Classificador Linear; (13) ML; (14) SVM OVA; (15) Multi SVM; (16) SVR; (17) Grafos; (18) HMM; (19) DT; (20) ADT; (21) Estatísticos SO-LSA e (22) Corpus.

Outro trabalho que trata de uma revisão relacionada à mineração de opinião é o apresentado por Nassirtoussi et. al. [Khadjeh Nassirtoussi et al. 2014] em que é apresentada uma revisão dos trabalhos que tratam de mineração textual para previsões de mercado. Os autores dividem os algoritmos em seis classes: (1) Support Vector Machine; (2) Algoritmos de Regressão; (3) Naïve Bayes; (4) Árvores ou Regras de Decisão; (5) Algoritmos Combinatórios e (6) Experimentos de Multi-Algoritmos.

4.2. Escolha das Técnicas

Tendo em vista os trabalhos escolhidos, a escolha das técnicas foi realizada buscando-se uma classificação que fosse ao mesmo tempo única, no sentido de que uma aplicação só se encaixa em uma classificação, e abrangente, ao se considerar o maior número de técnicas de mineração de dados. O trabalho de Park et. al. [Park et al. 2012], que trouxe uma classificação para sistemas de recomendação, foi então o escolhido, excluindo-se a classificação “Outros métodos heurísticos”, que não é específica. O trabalho de Liao et. al. [Liao et al. 2012] é bastante abrangente, porém possui ambiguidades ao se escolher em qual classificação encaixar determinada técnica e os outros dois trabalhos trazem uma classificação das técnicas específica para mineração textual.

4.3. Pesquisa de Trabalhos de Segmentação de Mercado

Ao todo, 350 resultados foram avaliados, sendo 50 para cada busca manual da técnica. Desses, 230 foram selecionados para posterior avaliação. Ao avaliar o Qualis, foram identificados 97 resultados como A1 ou A2; 15 como B; 18 como C e o restante não possuía classificação Qualis.

5. Resultados

O trabalho se iniciou com uma pesquisa por revisões sistemáticas, das quais apenas 4 estavam de acordo com os critérios estabelecidos. Percebe-se que, apesar da diversidade do tema de Mineração de Dados, poucos trabalhos atuais e de fontes renomadas trazem um agrupamento sistemático das técnicas de mineração sendo pesquisadas. Escolher um modelo de classificação envolve um profundo e vasto conhecimento na área, dada a diversidade de aplicações [Liao et al. 2012].

O trabalho de escolha dos artigos da etapa seguinte está sumarizado na tabela do Anexo I. Esta tabela apresenta os principais trabalhos de segmentação de mercado que utilizam de técnicas de mineração de dados. Cada artigo foi avaliado tendo em vista a aplicação da técnica e quais algoritmos ou modelos de mineração de dados foram empregados. Ao todo, 57 artigos foram selecionados que estavam de acordo com os critérios estipulados na metodologia. Desses, 59.65% foram identificados como relacionados a técnicas de Clusterização; 28.07% de Redes Neurais; 22.81% de Árvore de Decisão, 5.26% de K-NN; 5.26% Regras de Associação e 1.75% de Análise de Links, como mostra o gráfico na figura 1.

As técnicas de K-NN, Análise de Link e Regras de Associação foram as que apresentaram menos trabalhos relacionados à segmentação de mercado propriamente dita. Os trabalhos nessas técnicas se referem em sua maioria a sistemas de recomendação, que podem ser utilizados para processos relacionados a segmentação de mercado, por exemplo, ao avaliar os resultados de segmentação para recomendar produtos aos segmentos identificados. Logo, essas três categorias não devem ser incluídas em uma classificação específica para segmentação de mercado, mas podem ser utilizadas em conjunto a depender do contexto.

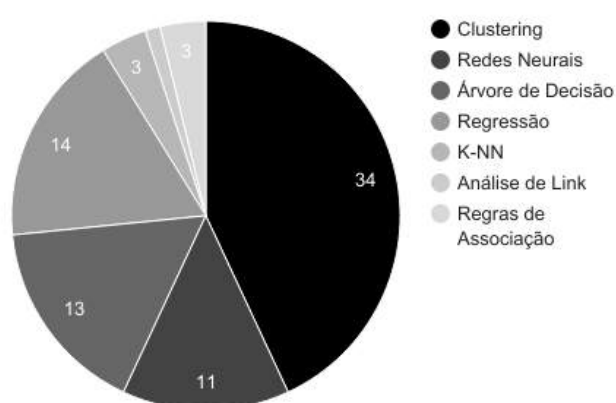


Figura 1. Distribuição por Técnica

Foram identificados, nestes trabalhos, 67 algoritmos ou modelos, sendo que 26.32% dos trabalhos tratavam do algoritmo de K-Means; 14.04% do algoritmo de SOM;

7.02% de Apriori; 7.02% de CHAID; 5.26% de K-NN e o restante de demais algoritmos ou modelos. Em relação às áreas de aplicação, 17.54% dos trabalhos traziam segmentação na área de Turismo; 12.28% na área de Telecomunicações; 8.77% de e-commerce; 10.53% de trabalhos com técnicas que podem ser aplicadas em diversas áreas; 5.26% de segmentação de mercados internacionais e o restante em outras áreas.

Tendo em vista que as técnicas de Clusterização e aplicação de Redes Neurais a partir dos algoritmos de K-Means e Self Organizing Maps (SOM) foram as com maior número de trabalhos com resultados concretos encontradas, é possível escolher tais técnicas como base para o projeto de identificação do perfil de interesse para a AEB. A segmentação de mercado será tanto demográfica, ao se buscar as regiões de maior interesse quanto comportamental e psicográfica, identificando o quanto cada cidadão está familiarizado com os conceitos da Política Espacial Brasileira e qual o estilo de vida do cidadão, mais especificamente, quais são seus hábitos na internet e de onde o mesmo procura informações relacionadas às atividades do Programa Espacial Brasileiro. Com esse conhecimento em mãos, será possível estipular estratégias de marketing específicas para cada grupo encontrado.

6. Conclusão

Este trabalho apresenta uma proposta de classificação para técnicas de mineração de dados aplicáveis à segmentação de mercado, a partir de uma metodologia que leva em conta classificações existentes para a escolha de modelos. Ao apresentar a proposta também lança os fundamentos para a criação de uma ação permanente de monitoramento da opinião do cidadão a respeito das realizações da AEB no âmbito do Programa Espacial Brasileiro. Como o principal objetivo de tal ação é descobrir se as realizações na agência no âmbito do Programa Espacial estão sendo capazes de alcançar o cidadão, conhecer o perfil da população a ser atingido é etapa importante do processo.

Assim, imagina-se que o presente trabalho pode ser explorado como referência para a definição das técnicas a serem utilizadas em um projeto de segmentação de mercado que busca evidenciar as principais características demográficas, comportamentais e psicográficas do público interessado por temas do Programa Espacial Brasileiro. Com a utilização das técnicas encontradas para a identificação dos segmentos, as ações de marketing poderão ser direcionadas, uma vez que cada segmento possui características próprias que justificam o teor e os meios de se transmitir informação de maneira eficiente, assim como será possível obter acompanhamento se a mensagem do Programa Espacial está chegando ao cidadão de forma adequada.

O tema de mineração de dados é extenso, o que dificulta a tarefa de propor uma classificação capaz de agrupar todas as técnicas adequadamente. Nesse sentido, o presente trabalho avaliou revisões da literatura já existentes para propor uma classificação específica para o caso de segmentação de mercado. Do total de revisões selecionadas, poucas estavam de acordo com os critérios estabelecidos, deixando-se assim de avaliar possíveis trabalhos que poderiam trazer novas formas de classificação.

Como os trabalhos para cada técnica classificada foram escolhidos a partir de pesquisa manual de palavras chave com os nomes das técnicas, deixaram de ser avaliados trabalhos relevantes que poderiam acrescentar novas formas de classificação a partir de técnicas que não foram elicitadas. Outro limitador foi a escolha de trabalhos apenas na

língua inglesa.

Os próximos passos da pesquisa envolvem a seleção das fontes a serem utilizadas e uma realização de um pré-experimento para avaliar a viabilidade de se utilizar os dados adquiridos. Uma vez que os dados estejam disponíveis, será possível obter os segmentos a partir da clusterização *K-Means* e pela análise da topologia gerada com os dados de entrada em um *SOM*, seguindo a metodologia CRISP-DM. De posse do modelo teórico, será possível construir um painel que permita aos gestores da AEB monitorar, em tempo real, o alcance dos projetos relacionados ao Programa Espacial.

Agradecimentos

Esta pesquisa foi financiada pela Agência Espacial Brasileira (AEB) em conjunto com o Centro de Pesquisa em Arquitetura da Informação da Universidade de Brasília (CPAI-UnB) através do Projeto de Arquitetura da Informação para o Programa Espacial Brasileiro 2014-2017.

Referências

- Beane, T. P. and Ennis, D. M. (1994). Market Segmentation : A Review. *European Journal of Marketing*, 21(5):20–42.
- Capon, N. (1981). Marketing Strategy Differences Between State and Privately Owned Corporations: An Exploratory Analysis. *Journal of Marketing*, 45(2):11–18.
- Khadjeh Nassirtoussi, A., Aghabozorgi, S., Ying Wah, T., and Ngo, D. C. L. (2014). Text mining for market prediction: A systematic review. *Expert Systems with Applications*, 41(16):7653–7670.
- Kitchenham, B., Brereton, O. P., Budgen, D., Turner, M., Bailey, J., and Linkman, S. (2009). Systematic literature reviews in software engineering – A systematic literature review. *Information and Software Technology*, 51(1):7–15.
- Liao, S.-h., Chu, P.-h., and Hsiao, P.-y. (2012). Data mining techniques and applications – A decade review from 2000 to 2011. *Expert Systems With Applications*, 39(12):11303–11311.
- Mukhopadhyay, A., Maulik, U., Bandyopadhyay, S., and Coello, C. A. C. (2014). A survey of multiobjective evolutionary algorithms for data mining: Part i. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 18(1):4–19.
- Park, D. H., Kim, H. K., Choi, I. Y., and Kim, J. K. (2012). A literature review and classification of recommender systems research. *Expert Systems with Applications*, 39(11):10059–10072.
- Rollemberg, R., Veloso, E. M., Queiroz Filho, A. P. d., Lins, B. F. E., Silva, E. F., Rocha, F. C. W., Faria, F. F., Juras, I. d. A. G., Menck, J. T. M., Camino, M. E. M. B., Vasconcelos, R. D. d. L., Martins, R. C. d. R., and Filho, R. d. M. G. (2010). A Política Espacial Brasileira.
- Smith, W. R. (1956). Product Differentiation and Market Segmentation As Alternative Marketing Strategies. *Journal of Marketing*, 21(1):3–8.
- Tsytarau, M. and Palpanas, T. (2012). Survey on mining subjective data on the web. *Data Mining and Knowledge Discovery*, 24(3):478–514.

Wirth, R. (2000). CRISP-DM : Towards a Standard Process Model for Data Mining. *Proceedings of the Fourth International Conference on the Practical Application of Knowledge Discovery and Data Mining*, (24959):29–39.

Ziafat, H. and Shakeri, M. (2014). Using Data Mining Techniques in Customer Segmentation. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 4(9):70–79.

Anexo I

A Tabela 1 a seguir apresenta todos trabalhos que foram identificados seguindo-se a metodologia proposta no presente artigo.

Tabela 1. Classificação dos Trabalhos de Mineração de Dados para Segmentação de Mercado

Título	Ano	Técnicas	Qualis	Market Segmentation	Área	Algoritmos e Técnicas
A case study of applying LRFM model in market segmentation of a children's dental clinic	2012	Clustering, Redes Neurais	A1	Demográfica, Comportamental (Lealdade)	Saúde	SOM
A consumer-oriented segmentation study in the Swiss wine market	2011	Clustering	A2	Comportamental, Imagem, Psicográfica	Vinho	Ward's Method
A Decision Support System for market-driven product positioning and design	2015	Clustering, Árvore de Decisão	A1	Comportamental (uso do produto)	Automotivo	Principal Component Analysis (PCA), K-means, AdaBoost classification
A hybrid case-GA-based decision support model for warehouse operation in fulfilling cross-border orders	2012	Árvore de Decisão	A1	P	Armazenamento	C-GADS
A hybrid model of self-organizing maps (SOM) and least square support vector machine (LSSVM) for time-series forecasting	2011	Redes Neurais, Regressão	A1	P	Geral	SOM, LSSVM
A meta-learning approach for determining the number of clusters with consideration of nearest neighbors	2013	Clustering, KNN	A1	P	Geral	
A novel customer scoring model to encourage the use of mobile value added services	2011	Redes Neurais, Regressão, Árvore de Decisão	A1	Comportamental (Propensão ao uso)	Telecomunicações	Exploratory Data Analysis (EDA)
A psycho-cognitive segmentation of organ donors in Egypt using Kohonen's self-organizing maps	2011	Redes Neurais	A1	Psicográfica	Saúde	SOM
A topic-based recommender system for electronic marketplace platforms	2012	Análise de Links	A2	P	E-Marketing	Latent Dirichlet Allocation
A unified framework for market segmentation and its applications	2012	Clustering, Redes Neurais, Regressão	A1	P	Geral	
An application of particle swarm optimization algorithm to clustering analysis	2011	Clustering, Redes Neurais	A2	P	Geral	Particle Swarm Optimization (PSO), K-Means
Application of particle swarm optimization and perceptual map to tourist market segmentation	2012	Clustering	A1	Demográfica, Comportamental (Propósito de compra)	Turismo	Particle Swarm Optimization (PSO), PSKO, K-Means, MDS
Audience targeting by B-to-B advertisement classification: A neural network approach	2013	Redes Neurais	A1	P	Geral	FeedForward network, MLP (multilayer perceptron), Text-Mining, Sentiment Analysis, Topic Mining
Bagged Clustering and its application to tourism market segmentation	2013	Clustering	A1	Demográfica, Comportamental (Motivação para compra)	Turismo	Bagged Clustering (BC), K-means, fuzzy C-medoids Clustering (FCMdC)

Título	Ano	Técnicas	Qualis	Market Segmentation	Área	Algoritmos e Técnicas
Bicycle commuting market segmentation analysis using attitudinal factors	2012	Clustering	A1	Comportamental	Transporte	SEM, K-Means
Building comprehensible customer churn prediction models with advanced rule induction techniques	2011	Árvore de Decisão, Regressão	A1	P	Geral	Ant Colony Optimization (ACO), ALBA, Ant Miner+, SVM, C4.5
Category role aided market segmentation approach to convenience store chain category management	2014	Clustering	A1	Demográfica, Comportamental (Padrões de compra)	Varejo	weighted fuzzy K-means clustering algorithm (WFKM)
Competitive strategies and market segmentation for suppliers with substitutable products	2011	Clustering	A1	Comportamental (Lealdade)	Armazenamento	Game Theory
Consumer preferences for wine applying best-worst scaling: a Spanish case study	2012	Clustering	A2	Demográfica, Comportamental (Razões para compra)	Vinho	BW
Customer data mining for lifestyle segmentation	2012	Clustering	A1	Psicográfica	Varejo	VARCLUS
Customer relationship management in the hairdressing industry: An application of data mining techniques	2013	Clustering	A1	Comportamental (Lealdade)	Cabelereiro	SOM, K-Means
Design of convergent product concepts based on functionality: An association rule mining and decision tree approach	2012	Regra de Associação, Árvore de Decisão	A1	P	Produtos de Mídia	Text Mining
Discriminative clustering for market segmentation	2012	Clustering, Regressão	A1	Comportamental (Utilização do Produto)	Site de Notícia	SVM, Regularized Least Squares Regression (RLSR)
Dynamics in the international market segmentation of new product growth	2012	Clustering	A1	Demográfica	Mercados Internacionais	Semi-Parametric HiddenMarkovmodel (HMM), p-splines, Stochastic Expectation-Maximization (SEM)
Event segmentation: A review and research agenda	2011	Regressão, Clustering, Regra de Associação	A1	Geral	Eventos	
Experimental comparison of parametric, non-parametric, and hybrid multigroup classification	2012	K-NN, Redes Neurais, Regressão	A1	Demográfica	Investimentos	K-NN, Linear Programming (LP), Multivariate Discriminant Analysis (MDA)
Exploring the use of travel information - identifying contextual market segmentation in Seoul, Korea	2011	Árvore de Decisão	A1	Demográfica, Comportamental (Tipo de Atividade)	Turismo	Chi-square Automatic Interaction Detection (CHAID)
External validity of market segmentation methods: A study of buyers of prestige cosmetic brands	2012	Clustering, Regressão	A1	Comportamental (Benefícios)	Cosméticos	Mixture Regression, K-Means
Facilitating cross-selling in a mobile telecom market to develop customer classification model based on hybrid data mining techniques	2011	Regressão, Árvore de Decisão, Redes Neurais	A1	Demográfica, Comportamental (Uso do produto)	Telecomunicações	Genetic Algorithms (GA), SAVG, MVOTE, GAOW
How to design and utilize online customer center to support new product concept generation	2011	Árvore de Decisão, Regra de Associação	A1	Comportamental (Uso do Produto)	Telecomunicações	Text Mining, K-Means
Identity, demographics, and consumer behaviors: International market segmentation across product categories	2011	Clustering, Regressão	A1	Demográfica, Psicográfica	Mercados Internacionais	SEM, Stepwise Multiple Linear Regressions (MLRs).
Improved market segmentation by fuzzifying crisp clusters: A case study of the energy market in Spain	2014	Clustering	A1	Psicográfica	Energia	LAMDA
International market selection and segmentation: perspectives and challenges	2011	Clustering	A1	Demográfica, Psicográfica	Mercados Internacionais	
Key drivers of airline loyalty	2011	Árvore de Decisão	A2	Comportamental (Lealdade) e Imagem	Aviação	
Market segmentation and ideal point identification for new product design using fuzzy data compression and fuzzy clustering methods	2012	Clustering, Redes Neurais	A1	Comportamental (Uso do Produto)	Produtos de Mídia	Fuzzy Data Compression Method, Fuzzy Clustering Method, NPCA
Market segmentation and willingness to pay for green electricity among urban residents in China: The case of Jiangsu Province	2012	Regressão	A2	Demográfica	Energia	Mlogit Model
Midpoint radius self-organizing maps for interval-valued data with telecommunications application	2011	Clustering, Redes Neurais	A1	Psicográfica	Telecomunicações	MR-SOM
Mining customer knowledge for direct selling and marketing	2011	Regras de Associação, Clustering	A1	Psicográfica, Comportamental (Motivações)	Cosméticos	K-Means, Apriori
Mining customer knowledge to implement online shopping and home delivery for hypermarkets	2011	Regras de Associação	A1	Demográfica, Comportamental (Produtos)	E-commerce	Apriori, K-Means

Título	Ano	Técnicas	Qualis	Market Segmentation	Área	Algoritmos e Técnicas
Mobile customer segmentation based on smartphone measurement	2014	Clustering	A2	Demográfica, Psicográfica	Telecomunicações	Latent Class Analysis (LCA)
Pattern mining in tourist attraction visits through association rule learning on Bluetooth tracking data: A case study of Ghent, Belgium	2014	Regras de Associação	A2	Comportamental (Uso do Produto)	Turismo	Apriori
Preference-based clustering reviews for augmenting e-commerce recommendation	2013	Regressão, Clustering, K-NN	A2	Comportamental (Review de Produto)	E-commerce	Latent Class Regression Model (LCRM), Probabilistic Regression Model (PRM), K-Means, K-NN
Recommending inexperienced products via learning from consumer reviews	2012	Clustering, K-NN	A2	Comportamental (Review de Produto)	E-commerce	Latent Class Regression Model (LCRM), K-Means, K-NN
Segmentation of telecom customers based on customer value by decision tree model	2012	Árvore de Decisão	A1	Comportamental (Lealdade)	Telecomunicações	Classification and Regression tree (CART), C5.0 Decision Tree, AHP
Segmenting customers in online stores based on factors that affect the customer's intention to purchase	2012	Clustering, Redes Neurais	A1	Psicográfica	E-commerce	SOM, K-Means
Segmenting visitors of cultural events by motivation: A sequential non-linear clustering analysis of Italian Christmas market visitors	2012	Clustering, Redes Neurais	A1	Demográfica, Comportamental (Motivação)	Turismo	SOM
Stability of market segmentation with cluster analysis—A methodological approach	2014	Clustering	A2	Psicográfica	Alimentos	K-Means, Hierarchical Ward Method
To mine association rules of customer values via a data mining procedure with improved model: An empirical case study	2011	Regra de Associação	A1	Comportamental (Benefício)	E-commerce	Ward's Method, RFMDR, Apriori
Tourist attitudes towards an accommodation tax earmarked for environmental protection: A survey in the Algarve	2012	Árvore de Decisão	A2	Comportamental (Disposicao a pagar)	Turismo	Chi-square Automatic Interaction Detection (CHAID)
Understanding China's long-haul outbound travel market: An overlapped segmentation approach	2013	Clustering	A1	Psicográfica	Turismo	Canonical Correlation Analysis (CCA)
Understanding Japanese tourists' shopping preferences using the Decision Tree Analysis method	2011	Árvore de Decisão	A2	Demográfica, Comportamental (Motivação)	Turismo	Chi-square Automatic Interaction Detection (CHAID)
Using a back propagation network combined with grey clustering to forecast policyholder decision to purchase investment-linked insurance	2011	Redes Neurais, Clustering, Regressão	A1	Demográfica, Psicográfica (Propensao a risco)	Investimentos	Grey Clustering Statistic, Logistic Regression, Back Propagation NN
Using the Taguchi method for effective market segmentation	2012	Clustering, Redes Neurais	A1	Demográfica, Comportamental (Benefícios)	Alimentos	Taguchi Method, K-Means, SOM, Genetic Algorithms (GA)
Variety-seeking: Using the CHAID segmentation approach in analyzing the international traveler market	2015	Árvore de Decisão	A2	Comportamental	Turismo	Chi-square Automatic Interaction Detection (CHAID)
Visualizing market segmentation using self-organizing maps and Fuzzy Delphi method - ADSL market of a telecommunication company	2011	Clustering, Redes Neurais	A1	Demográfica, Comportamental (Propósito de Uso)	Telecomunicações	Fuzzy Delphi Method, SOM
Water conservation behavior in Australia	2012	Árvore de Decisão, Regressão	A1	Comportamental (Uso do Produto)	Proteção Meio Ambiente	Multivariate Linear Regression Model, Unbiased Recursive Partitioning

Uma análise da colaboração científica numa área da pós-graduação brasileira por meio da modelagem estatística de redes sociais usando ERGM: Estudo de caso

Jorge H. C. Fernandes^{1,2}, João P. A. Maranhão²,
César A. B. de Andrade², Ricardo B. Sampaio²

¹Departamento de Ciência da Computação – Universidade de Brasília (UnB)
Caixa Postal 4466 – 70910-900 – Brasília, DF – Brasil

²Pós-Graduação em Ciência da Informação – Universidade de Brasília

{jhcf, rbsam}@unb.br, jpamaranhao@yahoo.com.br, caborges72@gmail.com

Abstract. *Presents an application of statistical methods to the analysis of a social network in order to provide statistically significant information about structural and nodal factors that may influence scientific collaboration. The research universe was the collaboration network for publications in periodicals by researchers linked to brazilian post-graduate programs in the field of Information Science. The research demonstrates a practical application of methods and tools for Exponential Random Graph Models (ERGM). The results and analysis allows probabilistic explanations of the behavior of researchers in terms of network self organization factors and also due to endogenous attributes of the researchers such as gender, program affiliation, field of doctoral study, years since doctoral degree, research focus and others.*

Resumo. *Apresenta uma aplicação de métodos estatísticos à análise de uma rede social, que provê informações estatisticamente significativas sobre aspectos que podem influenciar a colaboração científica. O universo da pesquisa foi a rede de colaboração para publicações em periódicos efetivada por pesquisadores afiliados aos programas de pós-graduação na área da Ciência da Informação no Brasil. A pesquisa demonstra uma aplicação prática de métodos e ferramentas para modelagem de grafos aleatórios da família exponencial (ERGM). Os resultados e sua análise permite explicações probabilísticas sobre o comportamento dos pesquisadores em termos de fatores de auto-organização de redes sociais, bem como devida a atributos endógenos dos pesquisadores, tais como gênero, afiliação a programas de pós-graduação, área de doutorado, tempo decorrido desde a obtenção do grau de doutor, foco de pesquisa e outros.*

1. Introdução

A colaboração científica tem sido objeto de estudo de autores na área da ciência de redes [Newman 2004], que se valem das características e organização das bases de publicações científicas com grandes volumes de dados para desenvolver estudos sobre estruturas das redes e padrões de colaboração entre os objetos desse estudo, que são os pesquisadores e suas publicações conjuntas. A grande maioria dos estudos realizados nesse universo de colaboração científica investiga a organização macroscópica das redes, considerando aspectos descritivos tais como grau médio, diâmetro, centralização e densidade

[Sampaio et al. 2015], enquanto outros consideram a auto-organização complexa ou topológica das redes, por meio de fenômenos tais como percolação, relevância de laços fortes e fracos, ligação preferencial e estruturas de mundo pequeno [Kronegger et al. 2012], além de leis de potência [Barabási et al. 2002]. Poucos estudos sobre colaboração científica tem empregado a modelagem estatística das redes sociais [Harris et al. 2012], que avalia de forma probabilística os laços de colaboração entre pesquisadores, considerando não apenas os fenômenos de auto-organização estrutural de redes complexas, mas também os múltiplos processos sociais aninhados entre si [Lusher et al. 2013, 21].

A proposta do estudo aqui relatado foi apresentar uma aplicação da modelagem estatística de redes sociais ao universo de pesquisadores de uma área específica da ciência no Brasil, a Ciência da Informação. Para tal, são utilizados os dados estruturais das redes de colaboração, bem como os atributos individuais dos pesquisadores, disponíveis em bases de dados abertos tais como nas Plataformas Sucupira¹ e Lattes². Alguns desses atributos são gênero, afiliação a programas de pós-graduação, área de doutorado, tempo decorrido desde a obtenção do grau de doutor, foco de pesquisa e outros.

Os objetivos do presente estudo são dois: (1) apresentar de forma tutorial um guia que facilite o acesso de pesquisadores interessados no desenvolvimento de modelos estatísticos de redes sociais; (2) identificar os aprofundamentos analíticos que podem ser obtidos por meio da modelagem estatística de redes utilizando modelos da família de grafos aleatórios exponenciais, chamada de ERGM ou p^* .

O restante deste artigo é organizado em mais seis seções: 2 - O estudo das redes de colaboração científica por meio da análise de redes sociais; 3 - O desenvolvimento de modelos probabilísticos de análise de redes sociais; 4 - A descrição da metodologia de coleta e análise de dados empregada; 5 - Os resultados e sua análise inicial; e 6 - Conclusões sobre o estudo desenvolvido.

2. A análise de redes sociais de colaboração científica

A análise da colaboração científica se concentra em padrões de relações entre os autores, permitindo identificar a disponibilidade e o fluxo de troca de recursos entre os mesmos [Wasserman and Faust 1994]. A análise efetuada neste estudo teve como foco os padrões de colaboração e as características que contribuem para reforçar ou enfraquecer essas possibilidades de colaboração.

A coautoria de um documento é um registro oficial do relacionamento entre dois ou mais autores ou organizações [Glanzel 2002] e apesar do debate antigo a respeito do seu significado e interpretação [Katz and Martin 1997], a análise de coautoria tem sido amplamente utilizada para entender e avaliar os padrões de colaboração científica.

A colaboração científica pode, então, ser definida como a interação que ocorre em um contexto social entre dois ou mais pesquisadores, que facilita o compartilhamento de significado e a realização de tarefas com relação a um objetivo mutuamente compartilhado [Sonnenwald 2007]. Em redes de coautoria, os vértices representam os autores ou as organizações às quais esses estão vinculados, e dois ou mais autores estão conectados se eles compartilham a autoria de uma ou mais publicações [Newman 2004].

¹<https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/>

²<http://lattes.cnpq.br/>

3. Modelos ERGM (*Exponential Random Graph Models*)

3.1. Histórico

Desenvolvidos entre 1970 e 1990, os modelos de grafos aleatórios exponenciais (ERGM) - também chamados de modelos p^* - têm mostrado ser uma das classes mais promissoras de modelo estatístico, capaz de expressar várias propriedades estruturais de redes sociais [Snijders et al. 2006].

Modelos ERGM podem ser aplicados à análise de [Lusher et al. 2013] redes não-dirigidas ou dirigidas, estratificadas em múltiplas camadas (multivariadas), bipartidas e longitudinais. Suas aplicações mais comuns são no estudo de redes intra e interorganizacionais. Modelos ERGM não são aptos a modelar redes com pesos em laços relacionais.

3.2. Definição

Conforme apresentam [Robins et al. 2007], em um modelo ERGM os possíveis laços entre atores de uma rede social são tratados como variáveis aleatórias, que podem ser modeladas sob várias suposições de dependências. Essas suposições de dependência possibilitam entender como e porque surgem - e também não surgem - os laços entre atores de uma rede social, e são primariamente expressas por meio da maior ou menor probabilidade de ocorrência de configurações endógenas de vários tipos (relacionamentos mútuos entre atores, assimetria de relações, formação de triângulos, estrelas de grau k etc). As suposições sobre a probabilidade de ocorrência de um laço também podem ter origem exógena à rede, devidas ao valor assumido por um atributo de um nó da díade, ou por uma combinação de valores - seja diferença ou similaridade - dos atributos de ambos os nós de uma díade. As configurações (endógenas) e os efeitos de atributos (exógenos) são inseridas em um modelo ERGM por meio de termos de modelagem (exemplificados na seção 3.4).

Informado por hipóteses socialmente embasadas sobre a formação de laços em uma rede empiricamente obtida, um analista pode inserir esses termos em um modelo exploratório (uma fórmula), na busca de se encontrar de forma generativa ou simulada uma combinação de ponderações (os parâmetros) para a estatística (quantidade de ocorrências) de cada termo, que melhor expresse as probabilidades de se gerar uma classe estatística de rede estruturalmente equivalente a uma rede empiricamente obtida.

3.3. Problematização para uma rede empiricamente obtida

A título de exemplo, os autores buscaram analisar por meio de modelagem ERGM uma rede de colaboração entre os 249 pesquisadores da área de ciência da informação vinculados a pós-graduações *stricto sensu* no Brasil, objeto da investigação relatada neste artigo. Uma apresentação gráfica da rede é feita na figura 1.

Cada vértice da rede representa um pesquisador. As linhas indicam as colaborações científicas entre os pesquisadores. Cada pesquisador está vinculado a uma linha de pesquisa, que faz parte de um programa vinculado a uma universidade ou instituição de pesquisa. Outros atributos de cada pesquisador foram obtidos a partir dos seus registros na Plataforma Lattes.

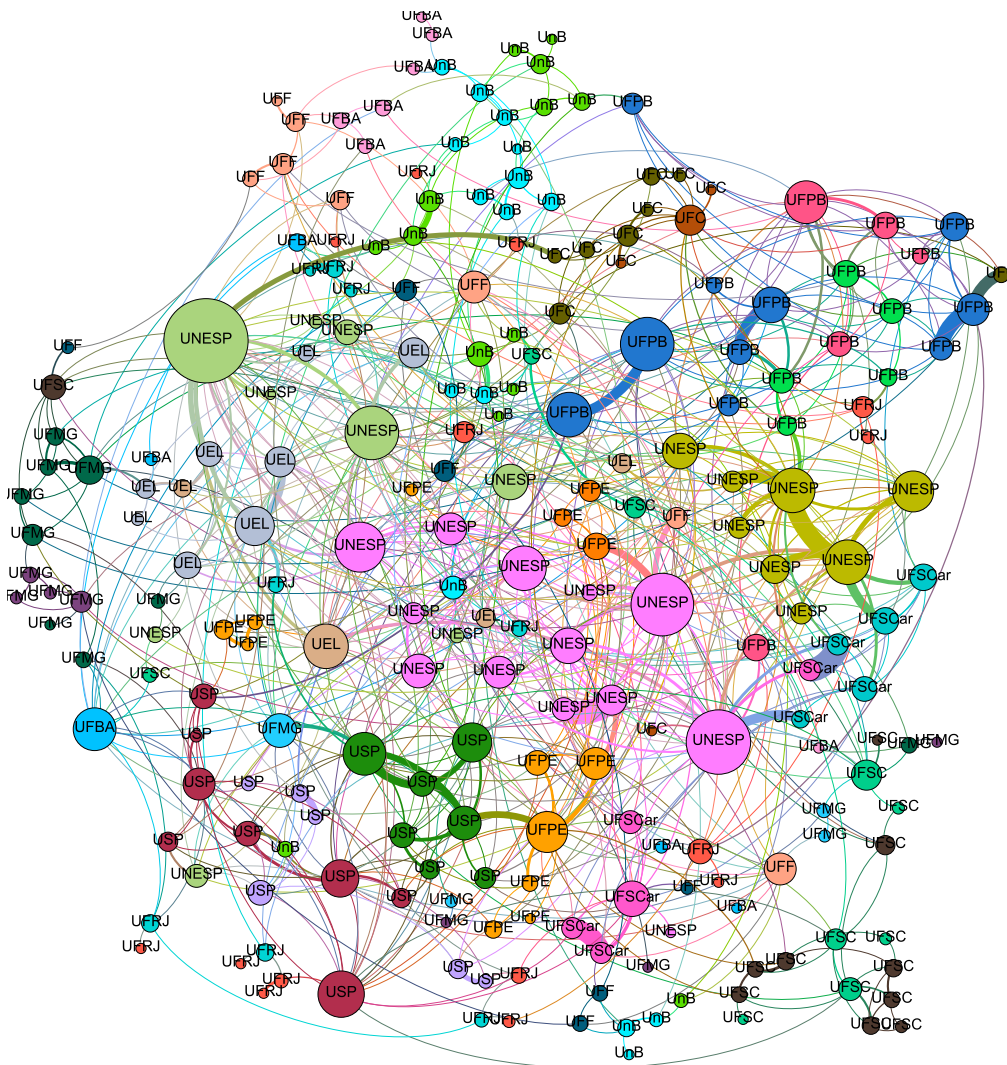


Figura 1. Rede de colaboração entre pesquisadores da Ciência da Informação no Brasil.

3.3.1. Algumas questões que podem ser respondidas por um modelo estatístico de rede

Perante o desafio de desenvolvimento de um modelo ERGM para a rede indicada, apresentam-se algumas questões básicas, como: (1) Qual é a propensão típica dos pesquisadores da rede a estabelecer um relacionamento com outro pesquisador, independentemente de aspectos como gênero, área de doutorado etc? (2) Quais tipos de relacionamentos triádicos são mais comuns na rede? (3) Qual a tendência de um pesquisador a se relacionar com uma multiplicidade de colaboradores? (4) Qual a influência de um determinado atributo de um pesquisador, tal como gênero, programa ao qual está filiado, região do país onde mora, em sua propensão a estabelecer colaborações com outros pesquisadores? (5) Quais outras configurações disponíveis em um modelo ERGM podem ser selecionadas para análise de aspectos como homofilia, propinquidade, seletividade etc, que podem eventualmente estar presentes nessa rede não dirigida em estudo?

Os detalhes envolvidos na modelagem estatística dessa rede específica são apre-

sentados na seção 4, sendo que o restante desta seção apresenta princípios gerais da modelagem usando ERGM, especificamente nos aspectos referentes a: (1) Seleção de termos ERGM; (2) Sensibilidade de modelos ERGM; (3) Ciclo de desenvolvimento de modelos ERGM; (4) Análise de adequação geral de um modelo; e (5) Interpretação de parâmetros estimados.

3.4. Seleção de termos ERGM

Para cada questão formulada visando análise de uma rede empírica um analista que desenvolve um ERGM deve lançar mão de um ou mais termos que expressam possíveis características generativas da rede. Os termos selecionados são inseridos em uma soma de termos, constituindo uma fórmula. Por meio de um pacote de software de modelagem ERGM é possível estimar-se as ponderações mais adequadas (parâmetros) para cada um dos termos inseridos na fórmula, visando assim definir quantitativamente, com maior ou menor grau de confiança, a contribuição individualizada de cada termo para a geração de um conjunto de grafos que possuam características estruturais similares às da rede empiricamente obtida (figura 1).

Termos Básicos O pacote `statnet` [The Statnet Development Team 2017] de análise de ERGM é utilizado na plataforma R, e apresenta termos que permitem a exploração de aspectos estruturais básicos (configurações endógenas) de redes sociais tais como número de arestas (`edges`), densidade (`density`), mutualidade (`mutual(attrname)`) e assimetria (`asymmetric(attrname)`) de díades em redes dirigidas. Os termos que permitem explorar mutualidade e assimetria numa rede dirigida podem ser parametrizados pelo valor de atributos nodais quantitativos ou qualitativos. Por exemplo, numa rede de preferências entre alunos de uma sala de aula os atributos de gênero e raça podem ser avaliados quanto à propensão para criação de relacionamentos mútuos ou assimétricos.

Termos que modelam efeitos exógenos de atributos nodais O pacote `statnet` apresenta termos que permitem estimar o efeito de valores de atributos nodais na propensão ao estabelecimento de laços não dirigidos ou dirigidos entre atores em uma rede. O termo `nodecov(attrname)` permite estimar a probabilidade de estabelecimento de laços entre dois nós, baseada na soma dos valores de um atributo quantitativo presente nesses nós (ex: idade, tempo de trabalho). O termo `nodematch(attrname)` permite estimar a probabilidade de estabelecimento de laços entre dois nós, baseada na igualdade do valor de um atributo categórico desses nós (ex: área de doutoramento, programa de pós-graduação ao qual está vinculado, região do Brasil na qual trabalha, gênero etc). O termo `absdiff(attrname)` permite estimar a probabilidade de estabelecimento de laços entre dois nós baseada na diferença absoluta de valores de um atributo quantitativo dos nós (por exemplo, tempo de doutoramento).

Termos de formas paramétricas para análise de parceiros compartilhados Dificuldades para a estimativa adequada dos parâmetros para um modelo ERGM tem sido amenizadas pela introdução de configurações geometricamente ponderadas [Snijders et al. 2006], denominadas de termos paramétricos no pacote `statnet`. A utilização desses termos confere uma estabilidade significativa ao desenvolvimento de

um modelo ERGM. De forma geral, os modelos ERGM mais sofisticados utilizam termos paramétricos tais como $gw_{dsp}(\alpha)$, $gw_{esp}(\alpha)$, $gw_{degree}(\text{decay})$ e $altkstar(\alpha)$.

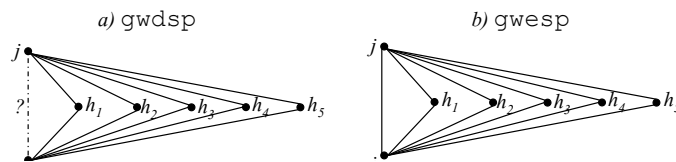


Figura 2. Configurações modeladas pelos termos gw_{dsp} e gw_{esp} .

O termo $gw_{esp}(\alpha)$ permite estimar de forma geometricamente ponderada a probabilidade de estabelecimento de laços com terceiros nós, entre uma díade que já se relaciona. Graficamente, o termo $gw_{esp}(\alpha)$ explora a chance de ocorrência de configuração numa rede na forma da figura 2b. Intuitivamente, o termo gw_{esp} permite responder à seguinte pergunta: qual a chance de que dois nós que se relacionam estabelecerem uma ligação com terceiros nós (h_1, h_2, \dots, h_n), de forma crescente, formando 1-triângulos ($\{(i, j), (i, h_1), (j, h_1)\}$), 2-triângulos ($\{(i, j), (i, h_1), (j, h_1), (i, h_2), (j, h_2)\}$), ..., k-triângulos ($\{(i, j), (i, h_1), (j, h_1), (i, h_2), (j, h_2), \dots, (i, h_k), (j, h_k)\}$)?

O valor $gw_{esp}.\alpha$ permite definir inicialmente a curvatura geométrica de um termo paramétrico. O resultado de estimativa de um termo paramétrico apresenta dois valores, sendo o primeiro indicador da probabilidade de geração de um 1-triângulo no caso de gw_{esp} . O segundo resultado estimado é o α , que indica a curvatura geométrica das probabilidades de geração de k-triângulos.

Outros efeitos O pacote `statnet` apresenta atualmente 64 diferentes termos que permitem explorar a influência de diversas estatísticas na probabilidade de estabelecimento de laços entre nós de uma rede social. Está fora do escopo desse artigo apresentar detalhadamente as possibilidades de uso desses termos, e remetemos ao trabalho de [Morris et al. 2008] para tal detalhamento.

A família de softwares PNET [Wang et al. 2009] também apresenta um amplo conjunto de termos que podem ser explorados no desenvolvimento de um modelo ERGM, especialmente no suporte à análise de redes com múltiplas relações, redes longitudinais e redes bipartidas, não presentes no pacote `statnet`.

3.5. Sensibilidade de Modelos ERGM

O desenvolvimento de um modelo ERGM requer uma abordagem cuidadosa para selecionar e validar os termos, e para analisar os valores obtidos por estimativas de valores para esses termos.

Na estimativa de valores é empregado um processo estocástico para a geração de redes onde cada um dos termos escolhidos atua de forma simultânea a todos os demais termos presentes no modelo. Dessa forma, a interpretação da influência de um termo específico deve levar em consideração que os efeitos de todos os demais termos também já foram computados, especialmente aqueles termos cujos efeitos são sobrepostos aos demais.

Portanto, as estatísticas (contagem da ocorrência de termos numa rede empiricamente obtida ou estocasticamente simulada) e ponderações para cada um dos termos já isolam o efeito individual de cada configuração.

3.6. Ciclo de desenvolvimento de um modelo ERGM

Três das maiores dificuldades no desenvolvimento de um modelo ERGM são:

Facilidade de degeneração do Modelo Os procedimentos de estimativa de parâmetros são muito sensíveis à escolha dos termos do modelo, e facilmente ocorre a degeneração do procedimento sem que haja convergência;

Baixo grau de confiança dos parâmetros estimados Mesmo após a convergência do algoritmo de estimativa dos parâmetros, a confiabilidade dos valores para um ou mais termos pode ser baixa, seja devido à insuficiência de dados da rede, à deficiência nos algoritmos de estimação, ou a interações entre os termos. Nesse caso, um ou mais dos termos devem ser removidos do modelo, ou não analisados.

Geração de efeitos colaterais não investigados Mesmo após a obtenção de um modelo consistente, que gere uma classe de redes que exibem estruturas estatisticamente equivalentes à rede empiricamente obtida, é possível que o modelo esteja enviesado por configurações não exploradas.

Essas dificuldades exigem que o ciclo de desenvolvimento de um modelo ERGM seja composto pelas seguintes etapas: (1) Simulação; (2) Estimativa; (3) Análise de adequação geral do modelo; e (4) Interpretação dos parâmetros estimados. Essas fases do ciclo de desenvolvimento são apresentadas a seguir. Códigos na linguagem R e com o uso do pacote `statnet` são introduzidos para fins de exemplificação.

3.6.1. Simulação

A simulação permite que um analista ganhe intuição sobre o efeito provocado pelos termos e seus parâmetros em um modelo ERGM. Busca-se simular redes que apresentem estrutura similar à rede empiricamente analisada. O script seguinte gera uma rede não dirigida com 249 nós, e explora o efeito produzido pelos parâmetros (termos) seguintes: -5 (`edges`), 2 (`gwesp`) e 1 (`gwesp.alpha`) na simulação de uma rede. A execução do comando `summary.statistics` gera uma contagem da quantidade de configurações para os termos correspondentes. O grafo simulado possui 492 arestas. No caso específico de `gwesp`, é apresentada a contagem da quantidade de 214 1-triângulos (`esp#1`), 72 2-triângulos (`esp#2`), 20 3-triângulos (`esp#3`) e 2 4-triângulos (`esp#4`). Não foram encontradas ocorrências de triângulos acima de 4.

```
>library(statnet)          # carrega a biblioteca statnet
>parametros<-c(-5,2,1) # parâmetros iniciais
>rede.inicial <- network(249,directed=FALSE) # rede inicial
>formula <- formula(rede.inicial ~ edges + gwesp(2)) # formula
>rede.simulada<- simulate(formula, nsim=1, coef=parametros)
>summary.statistics(rede.simulada ~ edges + gwesp(2))
edges  esp#1  esp#2  esp#3  esp#4  esp#5  esp#6  esp#7  esp#8  esp#9
492    214    72    20     2     0     0     0     0     0
esp#10 esp#11 esp#12 esp#13 esp#14 esp#15 esp#16 esp#17 esp#18 esp#19
0       0       0       0       0       0       0       0       0       0
esp#20 esp#21 esp#22 esp#23 esp#24 esp#25 esp#26 esp#27 esp#28 esp#29
```

```
0      0      0      0      0      0      0      0      0      0
esp#30
0
```

3.6.2. Estimativa

A estimativa dos valores dos parâmetros é feita com base na utilização de uma rede empiricamente obtida ou simulada. Aplica-se a função `ergm`, no caso do pacote `statnet`, a fim de se obter uma convergência do modelo, de modo que sejam gerados parâmetros para cada termo, e que esses parâmetros sejam obtidos com elevada confiabilidade. O script seguinte apresenta uma sequencia de comandos que ocorre após a sequencia anterior, onde um modelo simulado é agora utilizado como sendo uma rede empírica, por meio da qual se tentará estimar valores para os parâmetros, realizando-se uma operação conceitualmente inversa à simulação.

```
>model.fit <- ergm(rede.simulada ~ edges + gwesp(1) + gwdsp(1))
Starting maximum likelihood estimation via MCMLE:
Iteration 1 of at most 20:
The log-likelihood improved by 0.7781
...
```

Quando se consegue uma convergência no algoritmo MCMLE (*Monte Carlo Maximum Likelihood Estimation*) usado pela função `ergm`, os valores dos parâmetros encontrados são sumarizados, como exemplificado de modo simplificado no quadro abaixo. Para cada parâmetro obtido são indicados o erro padrão e a estimativa do intervalo de confiança dos valores encontrados. Três asteriscos (***) indicam que o grau de confiança da estimativa é 10^{-4} , ou acima de 99,9%. Esse é usualmente o grau de confiança empregado para aceitação de estimativas para análise em um modelo ERGM.

```
>summary(model.fit)
edges      -4.70191      0.14316      0 <1e-04 ***
gwesp       1.30392      0.11814      0 <1e-04 ***
gwesp.alpha 0.62689      0.10639      0 <1e-04 ***
gwdsp      -0.04782      0.08783      0  0.586
gwdsp.alpha 0.89534      1.37951      0  0.516
```

Os valores estimados indicam que a rede analisada apresenta efeitos significativos ligados aos termos `edges` e `gwesp`, sendo que não foi encontrado valor confiável para a configuração `gwdsp`. Antes de se proceder à análise desses parâmetros deve ser efetuada uma análise de adequação geral do modelo.

3.7. Análise de adequação geral do modelo

Mesmo que parâmetros e configurações selecionadas pelo analista de uma rede empírica tenham sido encontrados com elevado grau de confiabilidade em um modelo estatístico gerado, existe a possibilidade de que o modelo possua efeitos extremos em outras configurações ou métricas de rede não investigadas. Desse modo, antes de se passar à análise dos parâmetros encontrados para um modelo de rede ERGM, deve ser efetuada uma análise de *goodness of fit*, que consiste em avaliar se há um adequado casamento entre as características das redes geradas pelo modelo estatístico e as características presentes na rede empírica, ou vice-versa. Várias métricas, tais como a distância geodésica

entre todas as díades da rede empírica são comparadas com a distribuição de frequência das distâncias geodésicas entre todas as díades de várias redes que pode ser simuladas com os parâmetros encontrados. Nesse caso, por meio da função gof , do pacote *statnet*, são produzidas análises, sumarizadas graficamente como na figura 3.

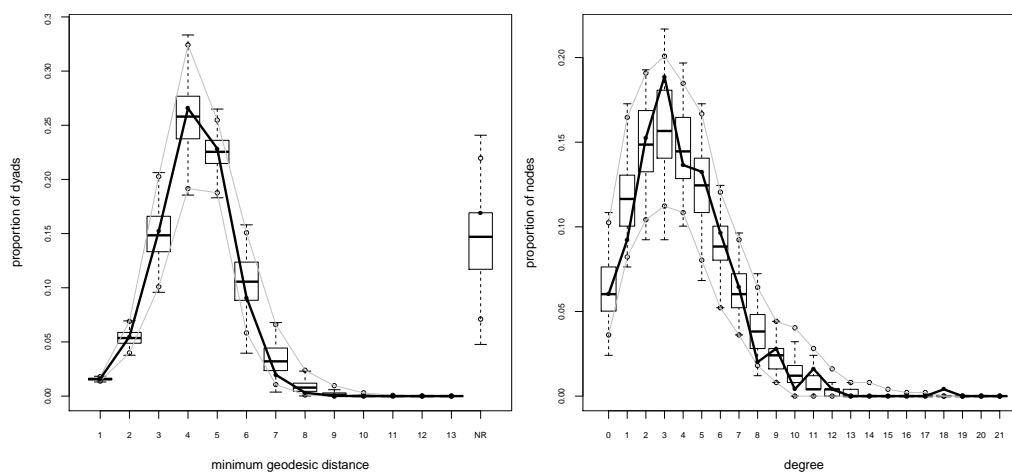


Figura 3. Resultados de análise de adequação geral de modelo (*gof* - *goodness of fit*) para uma rede empírica.

Os gráficos à esquerda e direita da figura 3 apresentam uma análise de adequação do modelo estatístico gerado na seção 3.6.2, relativamente à rede empírica que foi gerada por simulação e teve suas estatísticas analisadas na seção 3.6.1. O gráfico da esquerda compara os valores efetivos de mínima distância geodésica entre os nós da rede empírica (apresentados em linhas mais grossas) frente ao *box plot* da distribuição de frequência dos valores de mínima distância geodésica presentes em um conjunto de redes simuladas com base nos parâmetros sumarizados na seção 3.6.2. O gráfico da direita apresenta outra análise de adequabilidade, com base na distribuição de frequência de graus da rede empírica, frente às mesmas redes simuladas.

3.8. Interpretação dos parâmetros estimados

A interpretação dos valores obtidos pela modelagem ERGM de uma rede adequadamente modelada depende da compreensão de conceitos de regressão logística. Cabe informar que a introdução dos valores dos parâmetros *edges* e *gwesp* na equação 1 possibilita estimar, respetivamente, a chance de que um laço seja aleatoriamente estabelecido entre dois nós na rede empírica, e a chance de que dois nós que já se relacionam estabeleçam intencionalmente um 1-triângulo com um terceiro nó. Esses valores são de 0,9% e de 79%, respetivamente.

$$chance = e^{param} / (1 + e^{param}) \quad (1)$$

O restante deste artigo apresentará os resultados da análise da rede de colaborações entre os pesquisadores da Ciência da Informação no Brasil.

4. Metodologia de coleta e análise de dados

O universo de pesquisa teve como foco os pesquisadores que faziam parte dos programas de pós-graduação em Ciência da Informação registrados na Plataforma Sucupira da

CAPES, no final do ano de 2016. A partir desses registros, foram buscados os seus respectivos currículos na Plataforma Lattes, por meio da utilização do programa ScriptLattes [Mena-Chalco and Cesar-Jr 2009]. O ScriptLattes busca os dados contidos nos currículos dos pesquisadores e cria a rede de colaboração científica que foi aqui utilizada na aplicação dos estudos descritivos e estatísticos. É importante ressaltar que imprecisões nos dados contidos nos currículos podem resultar em alguns dados incorretos, especialmente devido à diferença de nomenclaturas de coautores ou mesmo no registro das publicações. Uma vez criada a rede de coautoria entre os pesquisadores escolhidos o tratamento dos dados se deu pela incorporação de atributos aos nós da rede. Esses atributos foram coletados manualmente a partir de análise dos respectivos currículos, com incorporação de dados como Unidade da Federação, Universidade, Programas de Pós-graduação e Linhas de Pesquisa às quais estavam vinculados, ano e área de obtenção dos títulos de graduação e doutoramento, o gênero e o foco de suas pesquisas na área da Ciência da Informação, de acordo com os grupos de trabalho definidos pela Associação Nacional de Pesquisa de Pós-Graduação em Ciência da Informação (ANCIB).

Foram realizadas cerca de cinquenta (50) simulações com diferentes combinações de termos ERGM, com durações que variaram de 15 minutos a 8 horas, em um notebook na plataforma Windows 7 com 8 GB de RAM e CPU Intel i5-2467M, a fim de se obter termos que produzissem uma convergência do modelo, cujos parâmetros são apresentados e analisados na seção 5.

5. Resultados e Análise

O melhor modelo para a rede foi o obtido pela fórmula a seguir.

```
ergm.model <- formula(rede ~
  edges + gwesp(1) + nodematch("Universidade") +
  nodematch("AreaDou") + nodematch("Regiao") +
  nodematch("Genero") + absdiff("AnoDou", pow = 1) +
  nodematch("GT"))
```

Os parâmetros estimados são apresentados na tabela 1. Todos foram obtidos com elevado grau de confiança. O valor do erro de cada estimativa, entre parênteses, é menor que metade do valor absoluto da estimativa, permitindo sua utilização em análises. As análises de adequação geral do modelo foram realizadas do modo apresentado na seção 3.7, obtendo-se todos os resultados satisfatórios. A interpretação dos valores obtidos é efetuada a seguir.

Tabela 1. Parâmetros estimados para o modelo ERGM.

Parâmetro	Estimativa (Erro) Confiança
edges	-5.199 (0.103) ***
gwesp	0.775 (0.034) ***
gwesp.alpha	0.958 (0.0264)***
nodematch.Programa	1.253 (0.082) ***
nodematch.Area	0.255 (0.063) ***
nodematch.Regiao	0.279 (0.087) **
nodematch.Genero	0.245 (0.073) ***
absdiff.AnoDou	-0.026 (0.005) ***
nodematch.GT	0.561 (0.078) ***

O parâmetro de valor -5.199 para o termo edges indica ser cerca de 0,5% a chance de que dois pesquisadores quaisquer em Ciência da Informação no Brasil desenvolvam

colaboração entre si. O parâmetro de valor 0.775 para o termo gwesp indica ser de 68% a chance de que dois pesquisadores de ciência da informação no Brasil que já colaboram estabelecerem uma colaboração mútua com um terceiro pesquisador. O valor 0.958 para parâmetro gwesp.alpha, combinado com o valor 0.775 para o termo gwesp, indica ser de 32% a chance de que um 1-triângulo de colaboração entre pesquisadores evolua para um 2-triângulo. Esses mesmos valores indicam ser de 16% a chance de que um 2-triângulo de colaboração evolua para um 3-triângulo.

Os valores dos termos nodematch, aplicados aos atributos Programa, Area, Regiao, Genero e GT (grupo de trabalho na área), apresentam correlações positivas no estabelecimento de laços entre pesquisadores, sendo, entretanto, a vinculação ao programa o fator de maior peso na chance de colaboração entre os pesquisadores, sendo de 77% a chance de que isso ocorra. O valor praticamente zero para o termo absdiff indica que a diferença entre os tempos de doutorado de cada um pouco influencia o estabelecimento de colaborações entre pesquisadores da área.

Alguns dos resultados obtidos com a obtenção do modelo ERGM ajudam a confirmar, com uma maior precisão, informações que já se supunham existir em uma relação de colaboração científica. No caso do coeficiente de clusterização, apresentado por meio do parâmetro gwesp, fica evidente a propensão de um pesquisador colaborar com pares que já tenham relação com colaboradores seus anteriores.

Quanto aos atributos exógenos de Regiao, Area, GT e principalmente Programa, os resultados já podiam ser esperados uma vez que se pode assumir que a proximidade física e a similaridade de assuntos aumentam a propensão em colaborar. No caso dos parâmetros Genero e AnoDou (de obtenção do doutorado) um aprofundamento sobre esses tópicos se faz necessário do ponto de vista dos autores. No último caso, entender as relações entre orientandos e orientadores pode ser um fator relevante no entendimento das colaborações científicas. Quanto ao Gênero, esse tópico tem sido recorrente em grupos de estudo sobre a ciência, e modelos que ajudam a quantificar essas relações podem contribuir bastante para um melhor entendimento dessas relações.

6. Conclusões

Esse artigo apresentou os principais conceitos da classe de modelos estatísticos para análise de redes sociais denominada ERGM. Superadas as dificuldades de compreensão na utilização do modelo, os resultados obtidos geram um grande número de respostas para várias hipóteses sobre a formação de redes sociais como a investigada. Fenômenos de homofilia, propinquidade e seleção social podem ser identificados com facilidade.

Referências

- Barabási, A., Jeong, H., Néda, Z., Ravasz, E., Schubert, A., and Vicsek, T. (2002). Evolution of the social network of scientific collaborations. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 311(3–4):590–614.
- Glanzel, W. (2002). Coauthorship Patterns and Trends in the Sciences (1980-1998): A Bibliometric Study with Implications for Database Indexing and Search Strategies. *Library Trends*, 50(3):461.

- Harris, J. K., Provan, K. G., Johnson, K. J., and Leischow, S. J. (2012). Drawbacks and benefits associated with inter-organizational collaboration along the discovery-development-delivery continuum: a cancer research network case study. *Implementation Science*, 7(1):69.
- Katz, J. and Martin, B. R. (1997). What is research collaboration? *Research Policy*, 26(1):1–18.
- Kronegger, L., Mali, F., Ferligoj, A., and Doreian, P. (2012). Collaboration structures in Slovenian scientific communities. *Scientometrics*, 90(2):631–647.
- Lusher, D., Koskinen, J., and Robins, G., editors (2013). *Exponential Random Graph Models for Social Networks: Theory, methods, and applications*. Structural Analysis in the Social Sciences. Cambridge University Press, USA.
- Mena-Chalco, J. P. and Cesar-Jr, R. M. (2009). scriptLattes: An open-source knowledge extraction system from the Lattes platform. *Journal of the Brazilian Computer Society*, 15(4):31–39.
- Morris, M., Handcock, M. S., and Hunter, D. R. (2008). Specification of Exponential-Family Random Graph Models: Terms and Computational Aspects. *Journal of Statistical Software*, 24(4):1–24.
- Newman, M. E. J. (2004). Coauthorship networks and patterns of scientific collaboration. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101(suppl 1):5200–5205.
- Robins, G., Pattison, P., Kalish, Y., and Lusher, D. (2007). An introduction to exponential random graph (p^*) models for social networks. *Special Section: Advances in Exponential Random Graph (p^*) Models*, 29(2):173–191.
- Sampaio, R. B., Sacerdote, H. C. d. S., Fonseca, B. d. P. F., and Fernandes, J. H. C. (2015). A colaboração científica na pesquisa sobre coautoria: um método baseado na análise de redes. *Perspectivas em Ciência da Informação*, 20(4):79–92.
- Snijders, T. A. B., Pattison, P. E., Robins, G. L., and Handcock, M. S. (2006). New Specifications for Exponential Random Graph Models. *Sociological Methodology*, 36(1):99–153.
- Sonnenwald, D. H. (2007). Scientific collaboration. *Annual Review of Information Science and Technology*, 41(1):643–681.
- The Statnet Development Team (2017). Introduction to Exponential-family Random Graph (ERG or p^*) modeling with statnet - Version 3.7.1. Technical report, University of Washington, USA.
- Wang, P., Robins, G., and Pattison, P. (2009). PNet Program for the Simulation and Estimation of Exponential Random Graph (p^*) Models : USER MANUAL. Technical report, Department of Psychology School of Behavioural Science University of Melbourne, Australia.
- Wasserman, S. and Faust, K. (1994). *Social Network Analysis: Methods and applications*. Cambridge University Press, USA.

Tie Strength Analysis: New Metrics and Open Problems

Michele A. Brandão and Mirella M. Moro

¹Universidade Federal de Minas Gerais – Belo Horizonte – MG

{micheleabrandao,mirella}@dcc.ufmg.br

Abstract. *The study of social ties has led to building rigorous models that reveal the evolution of social networks and their dynamism. In this context, a central aspect is the strength of ties, which allows the study of the roles of relationships. Here, besides analyzing the strength of co-authorship ties, we also present a set of metrics and algorithms to measure such strength.*

1. Introduction

Initial studies of social networks have emphasized the importance of properly measuring the strength of social ties to understand social behaviors [Granovetter 1973, Newman 2001]. Also, the study of social ties is fundamental for building rigorous models that reveal the evolution of social networks (SN) and the dynamics of social exchange [Aiello et al. 2014]. More recently, analyzing tie strength has allowed to investigate the roles of relationships including ranking for influence detection [Freire and Figueiredo 2011], as well as its influence in communication patterns [Wiese et al. 2015] and team formation [Castilho et al. 2017].

One of the first notable studies covering tie strength was published by Granovetter [1973]. He presents the importance of weak ties in SNs for various aspects, such as the spread of information. Since then, the strength of ties has been studied in different contexts with distinct goals, e.g., [Brandão and Moro 2015, Lopes et al. 2011, Silva et al. 2014]. However, few studies have addressed the strength of ties in temporal social networks [Dasgupta et al. 2008, Karsai et al. 2014, Kostakos 2009, Nicosia et al. 2013]. In such temporal context, studying the strength of ties allows to identify patterns of relationship over time, to detect aspects that influence it, to determine a limit of relationship in a period, among other relationship perspectives.

Tie strength may be measured by a combination of the amount of time, the cooperation intensity and the reciprocal services that characterize the tie [Granovetter 1973, Rana et al. 2014]. Such strength may also be measured by using the *neighborhood overlap* metric (also known as topological overlap) [Easley and Kleinberg 2010], a numerical quantity that captures the total number of collaborations between the two ends of each edge. This metric has been used for uncovering the community structure and measuring tie strength among others [Brandão and Moro 2015, Easley and Kleinberg 2010, Vaz de Melo et al. 2015]. In this work, neighborhood overlap is the base for developing new tie strength metrics and algorithms. Hence, this paper summarizes the main contributions of [Brandão 2017] as follows.

- An analysis of how nine topological properties affect the strength of co-authorship ties when measured by neighborhood overlap (Section 3.1).

- Four case studies on problems of measuring the tie strength with only neighborhood overlap and absolute frequency of interaction. A new metric to measure tie strength in non-temporal social networks, called *tierness*, accompanied by a nominal scale (Section 3.2).
- An analysis of how tie strength is defined and varies over time. We do so by: (1) improving an existing algorithm (RECAST [Vaz de Melo et al. 2015]) as named fast-RECAST; (2) introducing a new algorithm (STACY – *Strength of Ties Automatic-Classifer over the Years*) that automatically classifies ties strength in temporal co-authorship social networks, and (3) deriving a computational model from STACY, called *temporal_tierness*. Surprisingly, our results show that: most ties (even the strong ones) tend to perish over time; real co-authorship social networks have more weak and random ties than strong and bridge ties; and STACY is able to better identify strong ties than fast-RECAST (Section 3.3).
- A description of future directions and open problems (Section 4).

2. Brief Related Work over Tie Strength

Tie strength in social networks has been addressed with diverse goals such as measuring the strength of weak ties [Granovetter 1973], co-authorship ties [Brandão and Moro 2015], contact ties [Wiese et al. 2015], friendship ties [Zignani et al. 2016] and work ties [Castilho et al. 2017]. Such studies contextualize the importance of measuring tie strength in an appropriate manner: relationships play different roles and should be distinctly qualified as well through (for example) their strength. Indeed, studies show that the strength of ties has large impact at micro-macro levels in the network, depending on their weight, and influence the patterns of communications [Brandão and Moro 2015, Granovetter 1973, Zignani et al. 2016].

Tie strength can be calculated by considering topological and/or semantic properties. Topological properties capture structural features on the graph of the network [Brandão and Moro 2017a]. For instance, Brandão and Moro [2015] use neighborhood overlap to measure tie strength in co-authorship networks. Then, semantic properties catch non-structural features of nodes and edges. For example, Gilbert and Karahalios [2009] define a relationship as weak or strong on Facebook by considering features from the interaction history, e.g. days since first or last communication time, and inbox messages. Finally, combining both is also possible as done by Zignani et al. [2016].

Regarding semantic properties, one of the most relevant is the temporal aspect, which usually challenges traditional methods applied in static networks. Although the many research efforts in investigating social networks, the combination of tie strength and temporal aspects has not been largely explored yet. For example, Dasgupta et al. [2008] use tie strength associated with time to demonstrate its influence in operators network, whereas Karsai et al. [2014] use it to characterize the impact of time-varying and heterogeneous interactions on rumor spreading. Both studies consider the temporal evolution of ties strength, but do not propose a new metric that includes time. On the other hand, Kostakos [2009] and Nicosia et al. [2013] propose network properties that consider temporal aspects and show how such processing differs from those for static networks.

A related problem is how to define what strong and weak ties are in temporal networks. For instance, Karsai et al. [2014] consider both the amount of interactions

and the time of the interactions to define the strength of ties. Then, strong ties are time repeated and frequent interactions among pairs of individuals, whereas weak ties occur only occasionally. In a different manner, Nicosia et al. [2013] define two nodes i and j as strongly connected if they are in a not symmetric relation (i is temporally connected to j but not vice-versa), whereas they are weakly connected if in a symmetric relation (both i is temporally connected to j , and j is temporally connected to i).

3. Tie Strength Analysis

In this section, we describe the main aspects related to the results of this work. Specially, we summarize a characterization of neighborhood overlap when it is used to measure tie strength (Section 3.1), an analysis of problems of measuring tie strength using solely neighborhood overlap or co-authorship frequency, and a new tie strength metric to non-temporal SN (Section 3.2), and an analysis of tie persistence and transformation in temporal SN by using an existing algorithm and a new one (Section 3.3).

3.1. Characterizing Tie Strength when Measured by Neighborhood Overlap

We built non-temporal co-authorship networks from three areas to quantify the impact of properties on tie strength (neighborhood overlap) [Brandão and Moro 2015]. Characterizing neighborhood overlap shows that its average value is around 0.2, i.e. the networks are formed more by weak ties. Also, our analyses show that the Granovetter's theory governs the three networks and how topological properties are affected by removing weak and strong ties. Then, we have studied how nine topological properties (edge betweenness, co-authorship frequency, closeness, eccentricity, clustering coefficient, number of triangles, weight degree, eigenvector and page rank) impact on neighborhood overlap in non-temporal co-authorship social networks from three areas: computer science, medicine and sociology. We have also evaluated each property for increasing the quality of a regression model. Out of them, the clustering coefficient and edge betweenness were related to neighborhood overlap in the three networks. Such result is trivial, because of the definition of neighborhood overlap. However, the most important contribution is discovering other properties related and non-related to ties strength, and whether the relations are linear or not. Such study can help to improve the quality of systems whose design considers ties strength, and to better understand the reasons for a tie being strong or weak.

3.2. Measuring tie strength in non-temporal SN

In non-temporal social networks, neighborhood overlap and absolute frequency of interaction (a.k.a. co-authorship frequency or edge weight) have been largely used to measure the strength of ties. However, through empirical analyses, we identified four main problems with using solely neighborhood overlap and co-authorship frequency to measure tie strength [Brandão et al. 2016, Brandão and Moro 2017b]: (*Case 1*) when a pair of collaborators does not have any common neighbor, neighborhood overlap will be zero; (*Case 2*) when determining if two collaborators are from the same community or not, co-authorship frequency considers only the absolute frequency of interaction; (*Case 3*) when there is little collaboration between a pair of collaborators and many common neighbors, neighborhood overlap and co-authorship frequency will present opposite results; and (*Case 4*) when the results are extreme values, neighborhood overlap may not represent the reality.

Then, we presented a new metric called *tieness* [Brandão et al. 2016, Brandão and Moro 2017b], which has relatively low computational cost and can be applied to other social networks types (since *tieness* is a topological feature). Also, the definition of *tieness* comes with a nominal scale that allows to identify when a tie is weak or strong and if it links researchers from different communities or not. The main limitation to such a new metric is that the social network must have nodes collaborating with each other. We have performed empirical studies by considering the networks from three different areas of expertise (Computer Science, Medicine and Physics). Overall, our analyses showed that *tieness* provides more distinct values through the ties than neighborhood overlap and absolute frequency of interaction. Such distinction is important to better compare how strong (weak) a tie is regarding another one. We also observed similar behavior through the three different research areas. Furthermore, all the four co-authorship social networks are dominated by the presence of weak ties. This happens because most pairs of researchers have low amount of shared neighbors and small co-authorship frequency of interaction. Therefore, *tieness* is able to classify as strong ties only pairs of researchers with very high neighborhood overlap and co-authorship frequency.

3.3. Measuring tie strength in temporal SN

The concept of tie strength is well understood and analyzed for static networks, but little is known about it when applied to temporal networks. Therefore, we characterized the strength of ties in temporal networks by measuring the persistence and the transformation of ties over time [Brandão et al. 2017]. In order to do so, we built four temporal co-authorship social networks considering three real publications datasets. We also proposed fast-RECAST, a parallel and faster version of an existing algorithm (RECAST – Random rElationship ClAssifier sTrategy ??) that classifies edges into four classes of relationship according to their level of tie strength. Moreover, we propose STACY (Strength of Ties Automatic-Classifer over the Years), a parallel and fast algorithm that classifies the ties into eight different and more specialized classes. By grouping the edges into these classes, we were able to quantify the dynamism of tie strength over time.

Regarding results, the link persistence analysis reveals strong ties and bridges tend to persist over the years more than weak and random ties. Overall, this supports our initial hypothesis that strong ties persist more than the others. Then, STACY was able to find strong ties that persist more than those found by fast-RECAST. The results of fast-RECAST also show a different pattern for co-authorship social network from APS when the data is divided in 80% and 20%. In this experimental setting, the proportion of strong and bridge ties from the past to the present is very high compared to other social networks. Moreover, the link transformation analysis by using fast-RECAST and STACY revealed that most ties tend to disappear over time. This may occur due to the co-authorships nature, e.g., researchers tend to publish with students during a period and when the students graduate, they finalize the process of publishing together.

Finally, by using STACY, we defined a new computational model called *temporal_tieness* and a range of values for each class. Thus, tie strength can be computed with low computational cost when compared to fast-RECAST and STACY.

4. Future Directions and Open Problems

During this research, we have identified open questions and directions as follows.

Expanding the study to other collaboration social networks. The approaches proposed in this work to measure tie strength can be applied to other collaboration networks (for example, GitHub and Stack Overflow). We have already started to work on this direction by considering different ways to measure the strength of social coding collaboration on GitHub [Alves et al. 2016]. One of these metrics is *tieness*: while most metrics consider only the network topology, *tieness* is able to better differentiate the relationships by considering distinct weights associated to the edges.

Using qualitative research to evaluate tie strength. So far, we have evaluated the strength of ties by analyzing Granovetter’s theory in non-temporal social networks and link persistence/transformation in temporal social networks. Another direction is asking for users to analyze if they agree or not with their relationships strength generated by our new approaches. Doing so, we would be able to build a ground-truth to evaluate our new tie strength metrics and algorithms.

Evaluating tie strength methods by comparing with synthetic data. One of the main problems of working on social networks is the absence of a ground-truth to evaluate the results. A possible solution is to build a synthetic dataset that represents a completely random and/or perfect social network (allowing to compare the results from real networks with the synthetic ones). However, creating a realistic dataset has many challenges related to topologies, data distributions, correlations, attribute values, and so on.

Clustering analyses and evaluation. Due to the common nature of clusters in social networks, an interesting application is to evaluate clustering algorithms through network topological and semantic metrics. Initial results (fully reported in [Brandão 2017]) are promising but still need more evaluation by considering different algorithms.

Differentiating the α parameter of each property in *temporal_tieness*. So far, we have evaluated the range of values of *temporal_tieness* for each class by considering $\alpha = 1$. Although *temporal_tieness* is able to directly identify *strong*, *weak* and *random* ties, we can study how to better configure such parameter for each topological property. Thus, it would allow to classify ties in all the eight classes.

Adding other social network features to STACY. Our new algorithm considers three topological properties to classify tie strength (edge persistence, neighborhood overlap and co-authorship frequency). The main advantage of considering these metrics is that they are free of context. Nonetheless, adding other properties and extending STACY to different domains are still possible directions.

Group recommendation. Another interesting and open issue is group recommendation. Overall, our hypothesis is that tie strength among researchers helps to understand the importance their relationships, which may improve collaboration recommendation. Thus, a possible application of this work is to use our metrics associated with clustering algorithms to recommend groups of people to another person.

5. Conclusion

A property related to social ties is the strength of ties, which we have thoroughly studied here over co-authorship networks. Besides our analyses, we have also introduced *tieness* (a metric that better distinguishes tie strength of non-temporal co-authorship networks), *STACY* (a temporal classifier for strong ties), and *temporal_tieness* (a new computational

to directly classify tie strength over temporal co-authorship social networks with low computational cost). Finally, we presented open questions and directions for future work.

Acknowledgements. Work partially funded by CNPq and FAPEMIG, Brazil.

References

- Aiello, L. M., Schifanella, R., and State, B. (2014). Reading the source code of social ties. In *ACM WebSci*, pages 139–148, New York, USA.
- Alves, G. B., Brandão, M. A., Santana, D. M., da Silva, A. P. C., and Moro, M. M. (2016). The strength of social coding collaboration on github. In *SBBD*, pages 247–252, Salvador, Brazil.
- Brandão, M. A. (2017). *Tie Strength in Co-Authorship Social Networks: Analyses, Metrics and a New Computational Model*. PhD thesis, PPGCC, Universidade Federal de Minas Gerais, Brazil.
- Brandão, M. A., Diniz, M. A., and Moro, M. M. (2016). Using topological properties to measure the strength of co-authorship ties. In *BRASNAM*, pages 199–210, Rio de Janeiro, Brazil.
- Brandão, M. A. and Moro, M. M. (2015). Analyzing the strength of co-authorship ties with neighborhood overlap. In *DEXA*, pages 527–542, Linz, Austria.
- Brandão, M. A. and Moro, M. M. (2017a). Social professional networks: A survey and taxonomy. *Computer Communications*, 100:20 – 31.
- Brandão, M. A. and Moro, M. M. (2017b). The strength of co-authorship ties through different topological properties. *Journal of the Brazilian Computer Society*, 23(1):5.
- Brandão, M. A., Vaz de Melo, P. O. S., and Moro, M. M. (2017). Tie strength persistence and transformation. In *AMW (to appear)*, Montevideo, Uruguay.
- Castilho, D., de Melo, P. O. V., and Benevenuto, F. (2017). The strength of the work ties. *Information Sciences*, 375:155–170.
- Dasgupta, K. et al. (2008). Social ties and their relevance to churn in mobile telecom networks. In *ICDE*, pages 668–677, Cancun, Mexico.
- Easley, D. and Kleinberg, J. (2010). *Networks, crowds, and markets: Reasoning about a highly connected world*. Cambridge University Press.
- Freire, V. P. and Figueiredo, D. R. (2011). Ranking in collaboration networks using a group based metric. *Journal of the Brazilian Computer Society*, 17(41):255–266.
- Gilbert, E. and Karahalios, K. (2009). Predicting tie strength with social media. In *Procs. of SIGCHI*, pages 211–220, New York, USA.
- Granovetter, M. S. (1973). The Strength of Weak Ties. *American Journal of Sociology*, 78(6):1360–1380.
- Karsai, M., Perra, N., and Vespignani, A. (2014). Time varying networks and the weakness of strong ties. *Scientific Reports*, 4(4001).
- Kostakos, V. (2009). Temporal graphs. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 388(6):1007–1023.
- Lopes, G. R., Moro, M. M., da Silva, R., Barbosa, E. M., and de Oliveira, J. P. M. (2011). Ranking strategy for graduate programs evaluation. In *ICITA*, pages 56–64, Sydney, Australia.
- Newman, M. E. (2001). Scientific collaboration networks. ii. shortest paths, weighted networks, and centrality. *Physical review E*, 64(1):016132.
- Nicosia, V. et al. (2013). Graph metrics for temporal networks. In Holme, P. and Saramäki, J., editors, *Temporal Networks*, pages 15–40. Springer Berlin Heidelberg.
- Rana, J. et al. (2014). The Strength of Social Strength: An Evaluation Study of Algorithmic Versus User-defined Ranking. In *ACM SAC*, pages 658–659, Gyeongju, Korea.
- Silva, T. H. P., Moro, M. M., Silva, A. P. C., Meira Jr, W., and Laender, A. H. F. (2014). Community-based endogamy as an influence indicator. In *JCDL*, pages 67–76, London, UK.
- Vaz de Melo, P. O. S. et al. (2015). Recast: Telling apart social and random relationships in dynamic networks. *Performance Evaluation*, 87:19–36.
- Wiese, J. et al. (2015). You never call, you never write: Call and sms logs do not always indicate tie strength. In *CSCW*, pages 765–774, Vancouver, Canada.
- Zignani, M., Gaito, S., and Rossi, G. P. (2016). Predicting the link strength of newborn links. In *WWW, Companion Volume*, pages 147–148, Montreal, Canada.

6º DesafIE! - Workshop de Desafios da Computação aplicada à Educação

Apresentação

O DesafIE! é um evento da Comissão Especial de Informática na Educação (CEIE) da SBC que ocorre desde 2012 inspirado principalmente em um dos Grandes Desafios científicos da computação apontados pela SBC para a década (2006-2016) que trata do “Acesso participativo e universal do cidadão brasileiro ao conhecimento”, tendo como objetivo criar condições para vencer as barreiras tecnológicas educacionais, culturais, sociais e econômicas, que impedem o acesso e a interação por meio da concepção de sistemas, ferramentas, modelos, métodos, procedimentos e teorias capazes de endereçar, de forma competente, a questão do acesso do cidadão brasileiro ao conhecimento.

Ressalta-se que o DesafIE! sendo um workshop do Congresso da Sociedade Brasileira da Computação, tem o objetivo de discutir os temas da Informática na Educação que possuam sobretudo um enfoque computacional e que abordem aspectos desafiadores na área. Assim, é importante ressaltar que ele não seja entendido pela comunidade como um meio de divulgação de pesquisas em andamento, mas sim um evento entre pesquisadores que buscam discutir, vislumbrar e apontar temas desafiadores e interdisciplinares, com um grande enfoque computacional, na área de Informática na Educação.

O DesafIE!, em sua edição de 2017 busca promover um debate sobre os Grandes Desafios da Informática na Educação, motivado por discussões semelhantes já ocorridas na própria SBC, em outras comissões especiais, como no caso da comunidade de IHC, bem como em outras sociedades científicas internacionais.

A submissão de artigos para o VI DesafIE foi realizada em duas etapas. Na primeira etapa, foram recebidos 41 resumos de até 1.000 palavras. Estes resumos foram avaliados por dois revisores e quando necessário por um terceiro e como resultado foram aprovados 18 trabalhos para a segunda etapa. Na segunda etapa foram avaliados os 18 trabalhos aceitos na fase anterior e mais 6 artigos convidados, de um total de 15 convites emitidos, totalizando 24 artigos. Dos 24 artigos avaliados na segunda etapa, foram aprovados 12. A taxa final de aceitação do evento foi de 25%.

Comitê Organizador

Coordenação Geral

Edson Pinheiro Pimentel (UFABC), Thiago Barcelos (Instituto Federal de São Paulo)

Coordenação do Comitê de Programa

Edson Pinheiro Pimentel (UFABC)

Coordenação Local

Beatriz de Almeida Pacheco (Mackenzie)

Comissão Especial de Informática na Educação (CE-CEIE)

André Raabe (UNIVALI - Vice-Coordenador), André Santana (UNIVALI), Carlos Roberto (UFU), Cleber Nauber (UFAL), Elizabeth Rocha (UFGD), Eleandro Maschio (UTFPR), Fabiano Dorça (UFU), Ibsen Bittencourt (UFAL), Ig Ibert Bittencourt (UFAL - Coordenador), Leonidas Brandao (USP), Márcia Aparecida (UFU), Patricia Bassani (FEEVALI), Patricia Jaques (UNISINOS), Rômulo César Silva (UNIOESTE), Sean Siqueira (UNIRIO), Thais Castro (UFAM),

Comitê de Programa

Alberto Castro (Universidade Federal do Amazonas - UFAM), Alex Sandro Gomes (Universidade Federal de Pernambuco), Anarosa Brandão (Universidade de São Paulo), André Raabe (Universidade do Vale do Itajaí), Andrey Pimentel (UFPR), Beatriz de Almeida Pacheco (Mackenzie), Claudia Motta (Universidade Federal do Rio de Janeiro), Crediné de Menezes (Universidade Federal do Rio Grande do Sul), Ecivaldo Matos (UFBA - Universidade Federal da Bahia), Edilson Ferenda (UCB), Edson Pimentel (UFABC), Eleandro Maschio (UTFPR), Ellen Francine Barbosa (ICMC-USP), Evandro Costa (UFAL), Fabiano Dorça (Universidade Federal de Uberlândia), Fábio Ferrentini Sampaio (Universidade Federal do Rio de Janeiro), Fernanda Campos (Universidade Federal de Juiz de Fora), Gilda Helena Bernardino de Campos (PUC - Rio), Heitor Barros (Instituto Federal de Alagoas), Ibsen Bittencourt (Universidade Federal de Alagoas), Ig Ibert Bittencourt (Universidade Federal de Alagoas), Ismar Frango Silveira (Universidade Cruzeiro do Sul), Joice Otsuka (Universidade Federal de São Carlos), José Aires de Castro Filho (Universidade Federal do Ceará), Leandro Augusto Silva (Mackenzie), Marcia Fernandes (Universidade Federal de Uberlândia), Marcos Borges (Universidade Estadual de Campinas), Maria Augusta Silveira Netto Nunes (Universidade Federal de Sergipe), Maria Cecília Baranauskas (Universidade Estadual de Campinas), Márcia Cristina Moraes (PUCRS), Neide Santos (UERJ), Nizam Omar (Universidade Presbiteriana Mackenzie), Orivaldo Tavares (Universidade Federal do Espírito Santo), Patricia Jaques (UNISINOS), Ricardo Silveira (Universidade Federal de Santa Catarina), Ricardo José Rocha Amorim (Universidade do Estado da Bahia), Romero Tori (Universidade de São Paulo), Rosa Viccari (UFRGS), Sérgio Crespo C. S. Pinto (Universidade Federal Fluminense - UFF), Sílvio

Cazella (UFCSPA), Sean Siqueira (UNIRIO), Thiago Barcelos (Instituto Federal de São Paulo), Valguima Odakura (Universidade Federal da Grande Dourados)

Palestras

Como a Computação pode Transformar a Aprendizagem para Todos: Superando obstáculos e liberando o potencial de aprendizagem latente no Brasil

David Cavallo (UFSB)

As visões sobre como a computação pode transformar e melhorar a aprendizagem para todos não são novas. Apesar de inúmeros exemplos extremamente criativos e bem sucedidos, o progresso geral até agora não conseguiu o que se esperava porque frequentemente os educadores simplesmente usam as novas tecnologias para imitar práticas antigas. Embora às vezes isso possa trazer benefícios, como por exemplo, levar material para áreas e populações anteriormente excluídas, na maioria das vezes não é melhor e às vezes até pior. Isso leva à desilusão da promessa da tecnologia e tira o poder das idéias na aprendizagem e na computação. Esta apresentação irá focar em 3 coisas: (i) Discussão e exemplos de atributos de abordagens computacionais que trazem o maior valor à aprendizagem;(ii)Discussão sobre obstáculos e limitações existentes para alcançar os objetivos de ambientes de aprendizagem de alta qualidade para todos;(iii) Discussão e exemplos sobre como superar os obstáculos em grandes escalas e desenvolver um ecossistema de aprendizagem que construa um futuro mais justo, equitativo e democrático. Não é falta de inteligência ou capacidade de aprender das pessoas. Falta-lhes oportunidades e recursos suficientes. O objetivo desta apresentação é fornecer uma estrutura, exemplos concretos e etapas pragmáticas detalhando como criar ambientes de aprendizado computacionalmente ricos para desencadear o potencial de aprendizagem latente no Brasil e em outros lugares.

Bio: David Cavallo é professor e pesquisador na área de computação e aprendizagem. Desde 2013 é Professor Titular Visitante na Universidade Federal do Sul da Bahia (UFSB). Entre 2000 e 2008 foi Professor Pesquisador no MIT Media Lab e co-dirigiu o Future of Learning Group ao lado de Seymour Papert. Formado em ciência da computação pela Rutgers University e com um PhD em mídia, artes e ciências pelo MIT Media Lab. Co-dirigiu o Future of Learning Group ao lado de Seymour Papert, onde pesquisaram aprendizagem e computação, desenvolveram novas tecnologias e colaboraram em projetos de aprendizagem nos EUA e outros países. Em 2005, juntou-se à ONG (sem fins lucrativos) OLPC (One Laptop per Child ou "Um Laptop por Criança") onde foi o primeiro diretor na América Latina, Chief Learning Architect and Vice President of Education. Cavallo trabalhou na década de 1980 em projetos de inteligência artificial em várias empresas de alta tecnologia.

Trabalhos aceitos

Em Direção à Orquestração de Experiências de Aprendizagem em Ambientes de U-Learning

Izautino Vanderley Pereira de Oliveira, Ivanildo José de Melo Filho, Alex Sandro Gomes

Desafios para a Localização e Recuperação de Informação em Conteúdos Educacionais Audiovisuais

Ismar F. Silveira, Paulo R. S. Borges

Qualidade da Pesquisa Científica Brasileira em Informática na Educação: Desafios e Perspectivas

Patricia A. Jaques, Sean Siqueira, Ig I. Bittencourt, Seiji Isotani

Repensando o Desenvolvimento de Tecnologias Computacionais de Apoio à Aprendizagem ao Longo da Vida

Aracele Garcia de Oliveira Fassbinder, Maria Lydia Fioravanti, Camila Dias de Oliveira, Mauricio M. Arimoto, Ellen Francine Barbosa

Novas possibilidades de avaliação em larga escala na educação básica através do uso de EDM e Learning Analytics

Raphael Dourado, Rodrigo Lins Rodrigues, Jorge Cavalcanti, Alex Sandro Gomes

Oportunidades e desafios no desenvolvimento de Recursos Educacionais Abertos Multiculturais

Edie Correia Santana, Ismar Frango Silveira

Dados Conectados na Educação

Crystiam K. Pereira, Sean W. M. Siqueira, Bernardo Pereira Nunes

A importância da argumentação e da mediação na Educação a Distância e os desafios para a Informática na Educação

Gilda Helena Bernardino de Campos, Gianna Oliveira Roque

Modelagem de Engenharia da Cognição: Levantando o Cognoma Humano

Carla Verônica M. Marques, Carlo E. T. Oliveira, Claudia L. R. Motta

Em Busca de um Framework Conceitual para Apoiar a Diversidade

Alberto Castro, Thais Castro, Crediné Menezes, Bruno Gadelha, Elaine Oliveira, José Netto

Desafios da Sustentabilidade Educacional e as contribuições da Tecnologia Cloud Computing

Stela C. Bertholo Piconez, Adalberto Bosco Pereira, Josete M. Zimmer, Oscar Luiz Piconez Filho

O Desafio de Projetar Recursos Educacionais com uso de Realidade Virtual e Aumentada

Alexandre Cardoso, Cláudio Kirner, Ismar Frango, Romero Tori

Em Direção à Orquestração de Experiências de Aprendizagem em Ambientes de *U-Learning*

Izautino Vanderley Pereira DE OLIVEIRA¹, Ivanildo José de MELO FILHO^{1,2},
Alex Sandro GOMES¹

¹Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)
CIn – Centro de Informática – Recife – PE – Brasil

²Instituto Federal de Pernambuco (IFPE)
Campus Belo Jardim – PE – Brasil

{ivpo,asg}@cin.ufpe.br, ivanildo.melo@belojardim.ifpe.edu.br

Abstract. *This paper is a work in progress that seeks to understand and present the concept of technology-supported learning orchestration, in the same way that it seeks to relate to U-Learning environments. Such environments have a heterogeneous range of resources that make it difficult to orchestrate experiences in learning situations. The literature points to the orchestration of learning experiences as one of the great challenges in research of educational technologies, since the extension of spaces of learning beyond the classroom generates additional challenges of orchestration for the teachers.*

Resumo. *Este artigo é um trabalho em andamento que busca compreender e apresentar o conceito de orquestração em aprendizagem apoiada por tecnologia, da mesma forma que busca relacionar com os ambientes de U-Learning. Tais ambientes possuem uma gama heterogenia de recursos que dificultam a orquestração de experiências em situações de aprendizagem. A literatura aponta para a orquestração de experiências de aprendizagem como um dos grandes desafios em pesquisas de tecnologias educacionais, uma vez que a extensão de espaços de aprendizagem além da sala de aula gera desafios adicionais de orquestração para os professores.*

1. Introdução

Os avanços tecnológicos nas últimas décadas, como o uso massivo de dispositivos móveis: laptops, *smartphones*, *tablets*, entre outros. Além de quadros digitais, ambientes virtuais de aprendizagem e ferramentas digitais vêm transformando contextos educacionais em ecologias heterogêneas de recursos tecnológicos e sociais (Luckin, 2008). Esse cenário tem fomentado a oferta de oportunidades de aprendizagem, tanto dentro como fora da sala de aula envolvendo alunos e professores (Prieto, 2012).

Os estudos feitos por Muñoz (2015) mostram que a combinação perfeita de recursos físicos e virtuais de aprendizagem constitui ecossistema heterógeno conhecido como ambiente de aprendizagem ubíquo. Para Martinez (2013) os ambientes ubíquos têm potencial para promover a colaboração em diferentes formas. Eles fornecem aos usuários formas naturais de interagir com os colaboradores, tanto face-a-face quanto à

distância. Neste ponto, De Oliveira, Melo Filho e Gomes (2017) ressaltam que as interações correspondem às experiências de aprendizagem e podem ser compreendidas como qualquer interação compartilhada por indivíduos que atuam em um mesmo ambiente social em busca do desenvolvimento do conhecimento.

Para Ogata et al. (2004) o termo ambiente u-learning refere-se a uma situação ou cenário de aprendizagem a partir da utilização de dispositivos e tecnologia móvel, que levam em consideração características particulares dos aprendizes. Para Dede (2004), a aprendizagem ubíqua deve envolver uma mistura orquestrada de interações presenciais e virtuais, muitas vezes centradas num modelo de comunidades de aprendizagem. No entanto, a extensão de espaços de aprendizagem além da sala de aula gera desafios adicionais de orquestração para os professores (Muñoz, 2015). Pietro (2012) ratifica essa situação devido à complexidade das estruturas e atividades sociais envolvidas no processo pedagógico colaborativo. Inclusive, quando se trata do gerenciamento de interações.

Nesse novo quadro, percebe-se que o desafio é como a tecnologia pode apoiar a prática docente (planejamento, execução e monitoramento) de situações de aprendizagem em cenários ubíquos. Embora haja um interesse crescente na orquestração de u-learning, ainda há uma escassez de estudos sobre o apoio prestado por sistemas à orquestração de situações de aprendizagem em espaços ubíquos (Muñoz, 2015).

O uso crescente de diferentes experiências de aprendizagem viabilizadas pelas tecnologias tem refletido e proporcionado mudanças nas práticas de como ensinar, criando novos paradigmas para a educação, onde o aluno por sua vez, passa ter acesso a uma série de recursos e conteúdos independentes do tempo e espaço. Balacheff et al. (2009) acrescenta que o aprendiz pode aproveitar esses recursos para criar ambientes de aprendizagem que conseguem ser enriquecidos, flexíveis e escaláveis quando comparados à sala de aula tradicional.

Em suas pesquisas Dillenbourg et al., (2009) procura compreender o paradigma do ecossistema educacional ao introduzir o conceito de orquestração. O autor alerta que definir a orquestração de aprendizagem não é uma tarefa simples, uma vez que envolve a coordenação de uma multiplicidade de atividades, níveis sociais, contextos e meios de comunicação. Segundo Muñoz (2015) há na literatura várias abordagens que podem auxiliar os professores em alguns aspectos da orquestração. Algumas propostas incluem funcionalidades para ajudar na avaliação de estudantes ou auxiliar na gestão das atividades sugeridas pelos professores. O autor revela que a maioria das abordagens existentes propõe sistemas projetados para suportar um tipo específico de situação ou atividade de aprendizagem.

O presente trabalho está organizado em seções. A seção 2 apresenta o estado da arte sobre orquestração e u-learning. Na seção 3 discute a perspectiva sobre a orquestração em cenários de u-learning. A seção 4 apresenta o método de pesquisa, bem como os resultados esperados. As considerações finais são vistas na seção 5.

2. Estado da Arte

2.1 O Que é Orquestração de Aprendizagem?

Watts (2003) refere-se ao termo Orquestração como uma forma de conhecer e compreender os alunos que têm diversas preferências para apreciar e criar uma variedade de abordagens para apoiar a sua aprendizagem. Fischer e Dillenbourg (2006) fornecem a definição como o processo de coordenação produtiva de intervenções de apoio em múltiplas atividades de aprendizagem que ocorrem em múltiplos níveis sociais. Porém, mais tarde, Dillenbourg et al. (2009) expandiu esta definição afirmando que os ambientes de aprendizagem “estão integrados (indivíduo, grupo e classe), em diferentes contextos (sala de aula, casa, laboratório, viagens de campo, entre outros.) e pela mídia” .

Outros autores, entretanto, enfatizam o conceito relacionado a um projeto, Nussbaum e Díaz (2013) definem uma especificação detalhada de como a tecnologia deve ser implementada pelos professores, ou seja, sua orquestração está próxima do planejamento detalhado das atividades curriculares. Tchounikine (2013) fala sobre a integração de diferentes tipos de ferramentas e recursos para apoiar a tomada de decisão em tempo real.

A revisão da literatura realizada por Prieto (2012) oferece a definição de orquestração, como “o processo pelo qual os professores e outros atores concebem, gerenciam, adaptam e avaliam as atividades de aprendizagem, alinhando os recursos à sua disposição para alcançar o máximo efeito de aprendizagem”. O autor reforça que a orquestração, sob o ponto de vista da experiência de aprendizagem, aborda os desafios de coordenar a condução das atividades de aprendizagem em diferentes cenários. O autor também ressalta que o conceito de orquestração pode ser estendido para se aplicar a qualquer situação de aprendizagem, mas a palavra orquestração tem sido estudada em cenários de aprendizagem formal, ligada muitas vezes com o conceito de sala de aula, onde há um professor.

Entretanto, além de referências mencionadas e a partir da revisão da literatura apresentada por Prieto (2012) para o contexto deste trabalho a orquestração é vista como o desafio da efetiva implementação de todas as interações necessárias para um cenário bem-sucedido de aprendizagem e a importância de tornar a orquestração adaptável e flexível, de modo a considerar as necessidades dos aprendizes e o fluxo de atividades no momento de aprendizagem nos mais diferentes níveis de ensino.

2.2. Aspectos para a Orquestração de Experiências de Aprendizagem

Segundo Martinez (2013), a inclusão de tecnologias ubíquas no ambiente escolar introduz novas camadas de complexidade que os professores têm de lidar. Isso requer explorar o espaço de *design* para integrar com êxito cenários de *u-learning* com as situações educacionais propostas.

Prieto (2012) elencou oito tópicos no framework 5+3 que correspondem aos aspectos que utilizou para modelar a orquestração. A partir dos aspectos elencados por pelo autor, Muñoz (2015) identificou os seguintes desafios ao falar de orquestração em *u-learning*:

- **Desenho:** Preparar as atividades a serem implementadas com múltiplas tecnologias em múltiplos espaços.
- **Gestão:** Regulamentar de forma eficiente a situação de aprendizagem entre espaços, tecnológicos e níveis sociais.
- **Adptação:** Proporcionar formas eficientes de modificar a situação de aprendizagem e o acesso aos seus artefactos a partir de diferentes espaços, em tempo de execução.
- **Conscientização:** Fornecer aos professores informações sobre o que está ocorrendo e o que aconteceu nos diferentes espaços.
- **Funções dos professores e outros atores:** Compartilhar a carga de orquestração com os alunos, permitindo certo nível de auto-regulação.
- **Pragmatismo:** Cumprimento das restrições contextuais e institucionais dos participantes.
- **Alinhamento:** Coordenação dos recursos em diferentes espaços para atingir os objetivos propostos.
- **Teorias:** Utilizando a orquestração apropriada e as teorias pedagógicas que correspondem ao cenário, e as preferências do professor.

Segundo o autor, os pontos acima evidenciam uma série de desafios de orquestração em u-learning para os professores. Embora semelhantes às atividades de aprendizado em sala de aula e aprendizagem mista, nos ambientes ubíquos sua complexidade aumenta devido ao envolvimento de novos espaços e tecnologias. Além disso, os alunos podem ajudar a reduzir a carga de orquestração de professores, por exemplo, gerindo os seus próprios artefatos de aprendizagem.

3. Perspectivas sobre a Orquestração em Ambientes de U-Learning

As pesquisas apresentadas por Muñoz (2015) mostram que os dispositivos móveis podem reduzir as discontinuidades entre diferentes espaços físicos e virtuais e favorece a aprendizagem contínua, ou seja, uma experiência de aprendizagem contínua em diferentes espaços.

A revisão de literatura realizada por Seixas et al. (2016) mostra que devido à natureza heterogênia, os ambientes de *u-learning* têm um grande potencial no que diz respeito à adaptabilidade e flexibilidade para proporcionar diferentes experiências de aprendizagem. Os autores ressaltam que o ambiente ubíquo é um contexto misto com representação virtual e física, onde não há seqüências ou materiais instrucionais especificados, mas os alunos devem projetar, adaptar e construir o fluxo de atividade.

Prieto (2014) reforça que essa atividade lida com a concepção e gestão em tempo real de uma situação de aprendizagem, a fim de alcançar sinergicamente uma série de resultados desejados. Entwistle & Peterson (2004) diz que estes padrões contextualizados na aprendizagem podem ser teoricamente interpretáveis e também podem demonstrar combinações harmoniosas de abordagens profundas e percepções positivas do ensino. Nesse ponto, Prieto (2012) sugere usar a Teoria da Atividade para analisar a orquestração de experiências de aprendizagem e o alinhamento dos meios

mediadores utilizados para atender os objetivos das situações de aprendizagem propostas e suas particularidades.

Em Seixas et al. (2016) é apresentada uma síntese sobre plataformas e arquiteturas de u-learning. O LOCAL (*Location and Context Aware Learning*) que explora um modelo de sistemas de localização e suporte a contexto, a plataforma evidenciou limitações no que diz respeito às inferências pedagógicas do educador. Global, um modelo descentralizado de u-learning baseado em sistemas multi-agentes. Os autores também apresentam o UbiGroup cujo objetivo é recomendar objetos de aprendizagem (OA) para grupos de aprendizes.

Os ambientes de aprendizagem ubíquos oferecem aos alunos oportunidades de trabalhar e colaborar tanto face a face como remotamente. Esses ambientes incluem uma gama de tecnologias em diferentes estágios de adoção. Martinez (2013) apresenta o GLUEPS-AR, um modelo conceitual, com base nos princípios da regulação e a sensibilização. O sistema tem como objetivo apoiar os professores na implementação e gerenciamento de projetos de aprendizagem, em tempo real, através de múltiplas ferramentas de criação, em diferentes ULEs. Esses ULEs podem ser compostos de *Virtual Learning Environments* (VLEs) baseados na *web* (por exemplo, Moodle2), ferramentas Web 2.0 populares (por exemplo, Google Drive) e espaços físicos aumentados com clientes móveis existentes (por exemplo, Junaio).

Em seus estudos, Brito, Monteiro, Gomes, Amorim, Seixas e Melo Filho (2017) apresentam um experimento sobre o ensino da urbanização utilizando um ambiente ubíquo. O objetivo foi avaliar estratégias didáticas em u-learning sob a forma de desafios de aprendizagem individuais e em grupos. Entretanto, a autora relata limitações no que diz respeito às interações que ocorreram para a construção do conhecimento. A autora identificou problemas de interação e desempenho ao utilizar o *u-learning* denominado Youubi. Além de problemas de adequação dos ambientes de ubíquos para que os professores possam realizar atividades de aprendizagem de forma simples e dinâmica em suas práticas pedagógicas envolvendo conteúdos do mundo real. A autora conclui que os resultados experimentais mostraram que os alunos apresentaram um desempenho mais significativo na realização das atividades através das atividades ubíquas propostas.

Os ambientes citados apresentam diferentes formas de proporcionar as interações com o meio, no entanto, é possível observar que nessas plataformas, a orquestração sinaliza um desejo de repensar como os professores fazem seu trabalho de modo a aumentar o potencial para fazer a diferença em contextos educacionais. Para Dimitriadis (2013) orquestração pode ter começado com o foco no desenvolvimento de melhores tecnologias para salas de aula, mas há uma perspectiva emergindo de um foco não tecnológico. Esse foco abre de literatura em difusão de inovação e design participativo que podem ser mais relevantes para o estudo de tecnologias educacionais, uma vez que os desafios identificados extrapolam os cenários de u-learning e se faz necessário o envolvimento docente.

4. Discussão

Entre as limitações, percebe-se que o ecossistema educacional composto pelas tecnologias emergentes pode contribuir para diminuir obstáculos existentes no ambiente

de ensino tradicional. Porém, as plataformas de *u-learning* devem prover soluções para que os aprendizes se sintam motivados a usufruir o ambiente digital e dos recursos disponíveis, ao mesmo tempo, obter experiências positivas para sua formação. Da mesma forma, proporcionar as adaptações e intervenções necessárias para a prática docente de acordo com o contexto, bem como a gestão em tempo real das atividades.

A partir do estado da arte apresentado anteriormente foi possível visualizar questões em aberto em termos de orquestração e da tecnologia educacional. O desafio para os próximos anos, portanto, situa-se na cobertura do aspecto da orquestração em profundidade, por meio de um único de uma única plataforma ou serviço que possa integrar a outras ferramentas, sendo, portanto, escalável em diferentes situações de aprendizagem. Situações de aprendizagem em diferentes cenários de *u-learning*, por exemplo, ambiente de *u-learning* envolvendo também mundos virtuais 3D e contextos tradicionais de ensino.

Uma das formas viáveis para este desafio está centrado no design etnográfico com os professores durante um período prolongado, acredita-se que dessa maneira será possível identificar os elementos de projeto necessários para tornar ambientes e recursos de aprendizagem orquestráveis e utilizáveis. Dessa forma, será possível compreender o processo de ensino e aprendizagem como um todo, levando em consideração contextos independentes da sala de aula.

O entendimento sobre o uso de tecnologias em sala de aula necessita da adoção de elementos simples que permitam as pessoas fazerem coisas inteligentes. Tal fato será resultado de muitas experiências de aprendizagem, ensino e pesquisa em ambientes de aprendizagem reais e autênticos.

A coleta de dados ao longo dos anos pode ajudar na compreensão da dinâmica em sala de aula e contribuir para o desenvolvimento de um projeto de sistemas com grande potencial para apoiar o professor em sua orquestração. Neste ponto, a adaptabilidade visa reconhecer o fato de que o processo de ensino muitas vezes dependente do que acontece em tempo real. Assim, a partir da análise dos dados será possível conceber estratégias para apoiar a adaptação do contexto de aprendizagem de acordo com as necessidades, situações e circunstância vivenciadas pelos aprendizes.

5. Considerações Finais

Este trabalho teve como objetivo explorar a literatura sobre o entendimento relacionado às orquestrações de experiências de aprendizagem em ambientes de aprendizagem ubíqua. Da mesma forma, identificar oportunidades para discussão na comunidade acerca de trabalhos futuros e incentivar, a partir deste estudo, o desenvolvimento de estratégias relacionadas ao tema abordado.

É importante ressaltar que existem na literatura inúmeras pesquisas relacionadas ao conceito de orquestração, mas são poucas referente a *u-learning*. Vale ressaltar que a adaptabilidade e a flexibilidade, em cenários ubíquos, são pontos chaves para um melhor entendimento sobre as interações que ocorrem em busca da construção do conhecimento.

Por fim, os trabalhos futuros tangem na compreensão das situações de aprendizagem dentro e fora da sala de aula da mesma forma que busca a criação de

alternativas que atendam de forma orquestrada o uso de diversas experiências de ensino-aprendizagem. Entende-se que, inicialmente poderá ser realizado o desenvolvimento de dois trabalhos de pesquisas nessa direção: o primeiro resultado de uma revisão sistemática da literatura que replique todas as evidências acerca do conceito de orquestração. E o segundo o desenvolvimento de uma abordagem prática, por meio de pesquisas etnográficas, com foco da problemática discutida ao longo deste artigo.

6. Agradecimentos

Izautino V. P. de Oliveira é aluno bolsista, nível doutorado, apoiado pela Fundação de Amparo a Ciência e Tecnologia de Pernambuco – FACEPE | Processo N° PBPG-1007-1.03/16.

Referências

- Balacheff, N., Ludvigsen, S., De Jong, T., Lazonder, A., Barnes, S. A., & Montandon, L. *Technology-enhanced learning*. Berlin: Springer, 2009.
- Brito, J. A.; Monteiro, B.; Gomes, A. S.; Amorim, R.J.R; Seixas, L. R.; Melo Filho, I. J. Aprendizagem Significativa Ubíqua: Práticas Educativas no Contexto Urbano. In: *CISTI'2017 - 12th Iberian Conference on Information Systems and Technologies*, Lisboa/Potugal. 2017.
- Seixas, L. R. ; Melo Filho, I. J. ; Gomes, A.S. . Discussão sobre a Adaptabilidade em Ambientes U-learning baseada em Estilos de Aprendizagem. **Anais do XXXVI Congresso da Sociedade Brasileira de Computação - DesafIE - 4^o Workshop de Desafios da Computação aplicada à Educação**. Porto Alegre/RS: Copyright © 2016 da Sociedade Brasileira de Computação, 2016. v. I. p. 626-635.
- De Oliveira. I. V. P.; Melo Filho, I. J.; Brito, J. A.; Gomes, A. S. Orquestração de Aprendizagem em Cenários de DLEs. In: *CISTI'2017 - 12th Iberian Conference on Information Systems and Technologies*. Lisboa/Potugal. 2017.
- Dede, C. *Enabling Distributed-Learning Communities via Emerging Technologies. Proceedings of the 2004 Conference of the Society for Information Technology in Teacher Education (SITE)*, pp. 3-12. Charlottesville, VA: American Association for Computers in Education, 2004.
- Dillenbourg, Pierre; JÄRVELÄ, Sanna; FISCHER, Frank. *The evolution of research on computer-supported collaborative learning*. In: **Technology-enhanced learning**. Springer Netherlands, 2009.
- Entwistle, Noel J.; PETERSON, Elizabeth R. *Conceptions of learning and knowledge in higher education: Relationships with study behaviour and influences of learning environments*. **International Journal of Educational Research**, v. 41, n. 6, p. 407-428, 2004.
- Martinez-Maldonado, Roberto, et al. *Integrating orchestration of ubiquitous and pervasive learning environments*. **Proceedings of the 25th Australian Computer-Human Interaction Conference: Augmentation, Application, Innovation, Collaboration**. ACM, 2013.

- Muñoz Cristóbal, J.A., Jorrín Abellán, I.M., Asensio Pérez, J.I., Martínez Monés, A., Prieto Santos, L.P., Dimitriadis, Y. *Supporting Teacher Orchestration in Ubiquitous Learning Environments: A Study in Primary Education*. **IEEE Transactions on Learning Technologies**, 2015.
- Nussbaum, M., & Diaz, A. *Classroom logistics: integrating digital and non-digital resources*. **Computers & Education**, 2013.
- Ogata, H. & Yano, Y. PERKAM: *Personalized Knowledge Awareness Map for Computer Supported Ubiquitous Learning*. Educational Technology & Society, vol.10, no.3, pp.122-134, 2007.
- Prieto, Luis Pablo et al. *Supporting orchestration of blended CSCL scenarios in Distributed Learning Environments*. 2012.
- Prieto, Luis. et al. *Supporting orchestration of CSCL scenarios in web-based Distributed Learning Environments*. **Computers & Education**, v. 73, p. 9-25, 2014.
- Luckin, Rosemary. The learner centric ecology of resources: A framework for using technology to scaffold learning. **Computers & Education**, v. 50, n. 2, p. 449-462, 2008.
- Roschelle, Jeremy; Dimitriadis, Yannis; Hoppe, Ulrich. *Classroom orchestration: synthesis*. **Computers & Education**, 2013.
- Tchounikine, P. *Clarifying design for orchestration: orchestration and orchestrable technology, scripting and conducting*. **Computers & Education**, 2013.

Desafios para a Localização e Recuperação de Informação em Conteúdos Educacionais Audiovisuais

Ismar F. Silveira, Paulo R. S. Borges

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica (PPGEE)
Universidade Presbiteriana Mackenzie – São Paulo, SP – Brasil

ismar.silveira@mackenzie.br, paulorenato.borges@mackenzista.com.br

***Abstract.** With the technology evolution, there was a meaningful increase of data volume in Web and of user's number, which occasioned in a big challenge the precision, efficiency and speed in the search and recovery of desired information. In the education context, the e-learning and the usage of audiovisual contents has been become popular and the size of data collections with these content types is growing. Hence it is necessary an efficient way to structure and organize these contents according to its meaning semantic. Therefore, the goal of this paper is to discuss about the challenges on semantic utilization to provide the process of search and retrieval information in the audiovisual educational contents.*

***Resumo.** Com a evolução tecnológica, houve um aumento significativo do volume de dados na Web e do número de usuários, acarretando em um grande desafio a rapidez, precisão e eficiência na localização e recuperação da informação desejada. No contexto da educação, o e-learning e o uso de conteúdos audiovisuais têm se popularizado e o tamanho das bases de dados com esses tipos de conteúdo está crescendo. Dessa forma, é necessário um modo eficiente de estruturar e organizar esses conteúdos de acordo com seu significado semântico. Assim, o objetivo deste trabalho é discutir os desafios da utilização da semântica para subsidiar o processo de localização e recuperação de informação em conteúdos educacionais audiovisuais.*

1. Introdução

Com a evolução tecnológica, houve um aumento significativo do volume de dados presentes na Web e do número de usuários, acarretando em um grande desafio, a rapidez, precisão e eficiência na localização e recuperação da informação desejada. Isso porque a busca e recuperação considerando essa grande quantidade e diversidade de dados e de usuários demandam uma forma eficaz de descrição e organização desses conteúdos Web, o que torna necessário um entendimento sobre as informações contidas nesses conteúdos.

A maior parte dos conteúdos digitais foi construída para a compreensão de humanos, não de softwares e isso faz com que a maioria das informações se torne inacessível pelos usuários. Assim, no início dos anos 1980, para melhorar a interação entre humanos e computadores surgiu a área de Interação Humano Computador (IHC), inicialmente como uma área de especialização em ciência da computação abrangendo ciência cognitiva e engenharia de fatores humanos (Carroll, 2012). Ainda nessa direção, em 2001, foi idealizada a Web Semântica ou Web dos Dados Conectados, como uma extensão da Web na qual a informação possui um significado bem definido e proporciona

um melhor modo de cooperação entre humanos e computadores (Berners-Lee, Hendler, Lassila, 2001).

De acordo com Berners-Lee, Hendler e Lassila (2001), na época, já existiam duas tecnologias importantes, que poderiam ser empregadas no desenvolvimento da Web Semântica: a *eXtensible markup Language (XML)* e o *Resource Description Framework (RDF)*, ambas criadas para facilitar o armazenamento e o compartilhamento de informações via Web. A XML é utilizada para criar *tags* e adicionar certa estrutura aos documentos e o RDF para atribuir significado a essa estrutura. Ainda, foi necessário um terceiro componente denominado ontologia, que consiste em um conjunto de especificações formais e possui uma taxonomia para definir classes de objetos e a relação entre esses objetos. Apesar dessas três tecnologias serem os pilares do funcionamento da Web Semântica até os dias atuais, com o passar dos anos, os conceitos da Web Semântica fundamentaram a criação de outras tecnologias que possibilitam a visão contemporânea do W3C sobre o termo Web Semântica como Web dos Dados Conectados.

Juntamente com a evolução da Web Semântica, a área de IHC passou por transformações que a fizeram crescer ao longo dos anos e atualmente agrega uma ampla quantidade de áreas de pesquisa e prática na informática centrada no ser humano.

Os conceitos e as ferramentas semânticas e de IHC têm sido utilizados em estudos nos mais variados segmentos como saúde, energia, economia, computação, etc., inclusive na área educacional, em que a aprendizagem *online* ou *e-learning* está sendo popularizada. Esse tipo de aprendizagem pode ser possibilitado por diversas tecnologias, mas necessita dos objetos digitais de aprendizagem (ODA), que são recursos digitais para auxiliar no processo educativo e passíveis de reutilização e disseminação pela internet (Borges, 2016). Os ODA podem ser de diferentes tipos como: textos; imagens; áudios; dentre outros, destacando-se os conteúdos audiovisuais pela sua capacidade de ampliar e dinamizar as habilidades cognitivas dos alunos, proporcionando-lhes uma experiência diferenciada por ser sensorial, visual e auditiva (Serafim e Sousa, 2011; Kate, Waghmare e Priyadarshi, 2015), o que justifica serem o foco desta investigação.

Assim como os demais conteúdos audiovisuais presentes na Web, os educacionais audiovisuais possuem uma heterogeneidade estrutural e semântica imensa que implica em diversos pontos a serem tratados, antes de se explorar o potencial da Web Semântica para a localização e recuperação de informações presentes nesses conteúdos. Essas questões, apesar de estarem ligadas essencialmente a Interação Humano Computador (IHC), englobam desafios em diferentes áreas como Educação, Semântica, Visão Computacional, Processamento de Imagem, Aprendizado de Máquina, dentre outras.

Considerando esses pressupostos, o objetivo deste estudo é discutir sobre os desafios no processo de localização e recuperação de informação em conteúdos educacionais audiovisuais, mais especificamente, apresentar sobre propostas de avanços na direção de solucionar esses desafios e mostrar a importância desses avanços para a educação.

Na seção 2, é apresentada uma revisão da literatura. Na seção 3, são evidenciadas as tecnologias existentes e os desafios em sua utilização. Na seção 4, são apontadas propostas para enfrentar os desafios nos processos de localização das informações presentes em conteúdos audiovisuais educacionais. E por fim, as conclusões do estudo.

2. Revisão da Literatura

O estudo de Wong e Reimann (2009) evidencia que há várias pesquisas com ênfase em experiências de utilização de conteúdos audiovisuais da Web, as quais apontam para a melhoria na interação dos usuários, reflexão colaborativa e aprendizagem. Mostra ainda que esses conteúdos estão sendo largamente utilizados na área educacional e, em decorrência, os bancos de dados desses vídeos crescem rapidamente (Wong e Reimann, 2009; Rawat, Bhatt e Kankanhalli, 2014). Localizar e recuperar informações em uma grande quantidade de dados, estejam eles estruturados ou não, tem sido desafiador. Muitos órgãos empresariais, governamentais e instituições de pesquisas têm investido no processamento de uma quantidade maciça de dados, porém, refletindo sobre os interesses dos usuários, a maior parte dos dados possuem informações que não lhes estão acessíveis. Dessa forma, é preciso tecnologias e ferramentas que sejam capazes de processar, transformar e analisar os dados, na direção de encontrar informações que possam ser recuperadas (Chakraborty, Padki e Bansal, 2017). Essa necessidade tem sido foco de estudos que abarcam sobre a utilização de semântica nesse processo, mais especificamente, para a incorporação de metadados nos conteúdos audiovisuais com o objetivo de facilitar o acesso às informações neles contidas.

Dong *et. al.* (2015) apresentam um algoritmo para a sumarização automática de vídeos com base no seu processamento, combinando a detecção das principais características visuais como faces humanas, cores e texturas com indicadores semânticos derivados dessas informações visuais e de texto. Em relação a anotação de segmentos de vídeos, Chamasemani *et. al.* (2015) e Yu, Cai e Liu (2016) trazem em seus estudos métodos para extrair as principais características das imagens contidas em um vídeo, selecionar os principais quadros e anotar esses quadros automaticamente utilizando conceitos semânticos e aprendizado de máquina. Já o estudo de Chou, Chen e Lee (2017) mostra um método que utiliza *Deep Learning* para efetuar a anotação automática de um vídeo, criando uma hierarquia de segmentação e utilizando características visuais similares, juntamente com palavras-chave semânticas, com a finalidade de agrupar os vídeos em *clusters* semânticos e, conseqüentemente, facilitar a recuperação de vídeos semelhantes.

Em relação aos trabalhos no âmbito educacional, a pesquisa de Rawat, Bhatt e Kankanhalli (2014) utiliza conceitos semânticos visuais e aprendizado de máquina para segmentar e anotar automaticamente vídeos de palestras com informações sobre o modo de ensinar do professor. Já o trabalho de Yang e Meinel (2014) concentra-se em uma abordagem que utiliza o áudio e textos presentes nos vídeos para extrair informações automaticamente. A investigação de Borges (2016), apesar de utilizar anotação semântica manual, mostra como a incorporação de metadados semânticos em conteúdos audiovisuais educacionais auxilia na melhoria dos processos de localização, recuperação e reutilização de informações neles contidas em um Portal Semântico Educacional. Belizário Júnior e Dorça (2016) apresentam um modelo que considera um programa de curso e mapeia suas seções em conceitos representados em ontologias para realizar a busca inteligente de objetos de aprendizagem e sua recomendação de acordo com os estilos cognitivos e de aprendizagem dos estudantes. Mendes *et. al.* (2016) anunciam uma proposta de agrupamento de conteúdos em grandes repositórios, visando facilitar e auxiliar o processo de recomendação de conteúdos referentes a estilos de aprendizagem de alunos.

Analisando os estudos apresentados nesta seção, observa-se que nenhum avalia a construção de modelos destinados à educação que englobam simultaneamente os aspectos educacionais, os conceitos de IHC, o processamento automatizado de conteúdos audiovisuais, organização semântica automática desses conteúdos com base nas informações neles contidas e recuperação de conteúdos de acordo com a informação buscada por determinado usuário, seja ele aluno ou professor. Dessa forma, a seção seguinte discute sobre os desafios que impactam na arquitetura desses modelos.

3. Tecnologias existentes e desafios em sua utilização

Quando se trata de conteúdos audiovisuais educacionais, a tarefa de extrair e recuperar informações é muito complexa, pois, com base na teoria da informação, a detecção e reconhecimento das informações presentes nesses conteúdos dependem de diversos fatores que vão desde os aspectos intrínsecos aos autores desses conteúdos, passando pela forma que são construídos e metodologias utilizadas, até as características dos usuários que buscam por uma informação. No que se relaciona aos autores dos conteúdos audiovisuais, cada professor tem uma forma de ensinar e apresentar os assuntos de interesse, além das preferências tecnológicas, área de atuação e nível de ensino.

Outro ponto a ser salientado é que os usuários que procuram por um conteúdo educacional audiovisual também possuem particularidades que influenciam na informação buscada. Nesse contexto, Pirolli e Card (1999) propuseram a teoria do Forrageamento de Informação, que descreve o comportamento para a recuperação de informação fazendo uma analogia com a teoria de forrageamento de alimentos. Os principais conceitos envolvidos nessa analogia são: a fonte de comida e o lugar no qual ela pode ser encontrada; as estratégias para encontrá-la; quais as ferramentas disponíveis para encontrá-la; e quais os benefícios no seu consumo. Esses conceitos podem ser traduzidos para o contexto da busca por informação como: a tomada de decisão para escolher uma fonte de informação sobre outra; como as informações estão agrupadas; o valor dessa informação para quem está buscando e o item de informação que é buscado ou encontrado em relação ao valor da informação desejada. Assim, de modo geral, o desafio de recuperar uma informação de um conteúdo encontra-se em considerar os conceitos presentes nessa analogia para arquitetar interfaces que realmente suportem esses conceitos com o objetivo de entender que fatores determinam as preferências de um usuário na busca de informações e suas estratégias de explorar as informações e consumi-las. Nessa direção, Pirolli e Card (1999) desenvolveram um modelo para ser utilizado para avaliar a tecnologia de recuperação de informação e entender o comportamento do usuário. Mas, criar esse modelo e utilizá-lo em uma aplicação real ainda é muito complexo, pois, apesar de toda tecnologia existente, depende de muitos fatores que não são inteiramente detalhados por esses autores.

Nesse contexto, além de entender o comportamento do usuário utilizando os conceitos de IHC, fica clara a necessidade de agrupar a informação de forma eficiente, sendo preciso uma organização dos conteúdos audiovisuais educacionais de acordo com as informações neles contidas, as quais podem incluir metadados como: títulos, sumários, data, autores, duração, tamanho do arquivo, formato, atores, legendas, dentre outros. Todas essas informações podem ser utilizadas para atribuir um significado semântico a esse vídeo, mas a maior parte dos vídeos presentes na Web não contém metadados suficientes para serem relevantes semanticamente (Hu *et. al.* 2011; Yang e Meinel, 2014). Apesar do significado semântico ser muito importante para localização e recuperação das

informações desses conteúdos, quando o processo de atribuição de semântica é manual, demanda muito tempo e é trabalhoso, o que sugere a necessidade da utilização de ferramentas para realizar a descrição e indexação automáticas (Yang e Meinel, 2014; Borges, 2016).

No que tange à incorporação automática de informações semânticas em conteúdos audiovisuais, a maior parte dos trabalhos existentes na atualidade efetuam o processamento do conteúdo visual e, geralmente, os vídeos são estruturados de acordo com uma hierarquia de clipes, cenas, fotos e quadros com o objetivo de segmentá-lo de acordo com o seu conteúdo semântico. Depois de segmentado o vídeo, os principais quadros, ou seja, aqueles que têm conteúdos mais relevantes, são analisados para realizar a extração de suas características visuais principais como cores, texturas, bordas, formas, textos e objetos, além de informações de movimentos. Em seguida, essas características principais são utilizadas para encontrar padrões de conteúdo; comportamento de objetos em movimentos; eventos e suas associações; e semântica conhecida de outros vídeos. Esses dados são então submetidos a regras que propiciam anotar os segmentos e classificar o vídeo. Mas, para o contexto educacional, foco desta pesquisa, nem sempre as técnicas baseadas no processamento do conteúdo visual podem ser aplicadas, já que vídeos de palestras ou aulas, por exemplo, são compostos por cenas homogêneas, tornando-se necessário processar também o áudio do vídeo. Para analisar o áudio do vídeo, primeiro é feita sua transcrição e posteriormente, organizada de acordo com os segmentos já estruturados segundo seu conteúdo visual, auxiliando na anotação e classificação semântica (Yang e Meinel, 2014). Entretanto, a diferença entre as informações extraídas automaticamente e a interpretação de um observador humano é que torna esse processo tão difícil (Hu *et. al.*, 2011; Yang e Meinel, 2014). Isso faz com que os resultados apresentados pelos estudos já existentes não sejam suficientes para serem utilizados como metodologia de extração automática de informações em conteúdos audiovisuais educacionais.

Uma vez que os conteúdos audiovisuais educacionais estão anotados e organizados semanticamente, a busca e recuperação de informações dos conteúdos em grandes repositórios ficam, de certa forma, facilitadas. Porém, ainda contam com entraves difíceis de resolver, pois as características e perfil do usuário que procura por uma informação também devem ser considerados para que os resultados lhe sejam relevantes. Existem ainda, inúmeras questões relacionadas à Educação, Pedagogia, Psicologia, Interação Humano Computador, dentre outras, as quais influenciam na acurácia dos resultados de acordo com o usuário que efetuou a busca, como por exemplo: palavras-chaves digitadas e o seu significado semântico; relação da busca atual com as buscas anteriores efetuadas por esse usuário; o tipo de vídeo educacional que esse usuário gosta; perfil do usuário e experiência como pesquisador; resultados acessados em uma pesquisa semelhante; estilo cognitivo de aprendizagem desse usuário; preferência desse usuário sobre a forma de visualizar os resultados, etc. Assim, a grande dificuldade consiste em encontrar as técnicas mais eficientes para a implementação de um modelo que seja capaz de englobar essas questões, dado que a linguagem natural utilizada pelos estudantes e professores não pode ser facilmente compreendida por algoritmos que automatizam esse processo na sua totalidade.

De maneira geral, pode-se afirmar que os principais desafios para a localização e recuperação de informação em conteúdos educacionais audiovisuais estão relacionados à IHC e semântica e isso requer que todo o processo seja subsidiado por um conjunto de

dados semânticos apropriado. Além disso, a acurácia nesse processo ainda depende da utilização de técnicas de processamento de imagem e aprendizado de máquina adequadas para que, não só ocorra a extração satisfatória de informações de um novo conteúdo, mas também uma atualização das informações dos conteúdos já existentes na base de dados fundamentada no aprendizado sobre os novos dados que estão sendo salvos.

Por fim, realizar todo esse processamento para localizar e recuperar informações em uma grande quantidade de conteúdos educacionais audiovisuais utilizando semântica pode demandar muito tempo, o que consiste em outro grande desafio, pois os recursos de hardware são limitados. Isto significa que muitas vezes a qualidade do processo fica prejudicada para não comprometer a experiência do usuário, principalmente na facilidade de acesso à informação.

Conforme mostrado nesta seção, apesar de existirem estudos sobre técnicas, metodologias e ferramentas para a localização e recuperação de informação em conteúdos audiovisuais, ainda são muitos os problemas em aberto que merecem a atenção de investigações futuras para que ocorram avanços nessa área. Dessa forma, a seção seguinte apresenta alguns desses problemas e possibilidades para reflexões sobre esses desafios.

4. Propostas para enfrentar os desafios

No que tange aos problemas relacionados à extração de informações, sugere-se pensar na construção de modelos e ontologias generalizáveis em larga escala utilizando técnicas multimodais para o processamento do áudio e do vídeo dos conteúdos educacionais audiovisuais, com o objetivo de subsidiar a extração automática de informações relevantes com maior acurácia. Considerando que, no contexto educacional, os conteúdos audiovisuais podem versar sobre variados temas, a acurácia dessa generalização está atrelada, em grande parte, a eliminação da dependência do domínio do conhecimento. Para tanto, é preciso que as características da percepção humana sejam melhor exploradas para que uma correspondência semântica dessas características seja empregada na extração automática de informações como forma de aumentar a acurácia das técnicas de processamento existentes. Esses modelos e ontologias generalizáveis podem ser utilizados também para a organização desses conteúdos em grandes repositórios de dados.

Em se tratando da busca e recuperação da informação desejada em grandes repositórios de dados, pode-se pensar na possibilidade de se estudar as maneiras de utilização de semânticas que sejam capazes de descrever comportamentos e sentimentos humanos com a finalidade de criar modelos cognitivos que representem o estilo e preferências do usuário.

É também oportuno que sejam investigadas metodologias para a combinação de técnicas de aprendizado de máquina de modo a obter mais acurácia em todas as etapas do processo de localização automática e recuperação de informações nos conteúdos educacionais audiovisuais.

Em suma, com base no princípio da Web Semântica de melhorar o trabalho em conjunto de humanos e máquinas (Berners-Lee, Hendler e Lassila, 2001), o sucesso das ações a serem tomadas para enfrentar os desafios evidenciados depende da utilização de conceitos de IHC, os quais são de grande importância para projetar sistemas interativos capazes de apoiar o modo com que os humanos se comunicam e interagem (Rogers, Sharp e Preece, 2013). Esses conceitos de IHC são essenciais para entender o comportamento do usuário e arquitetar soluções que o auxiliem na busca por informação.

Além de entender o estilo do usuário para trazer um conteúdo educacional audiovisual de acordo com a informação buscada, é preciso utilizar os princípios de usabilidade para construir as interfaces de usuário com o objetivo de facilitar a visualização das informações em uma grande quantidade de dados e compreender qual a relação existente entre essas informações. Em decorrência, o usuário poderá gastar mais tempo consumindo a informação do que buscando por ela. E essa deve ser a principal motivação para construir soluções para os desafios discutidos neste trabalho.

Para avaliar o sucesso e medir o impacto das ações sugeridas na direção de solucionar os desafios apresentados, é necessário a atuação de equipes multidisciplinares para que sejam aplicados os conceitos de IHC e reunidas habilidades de diversas áreas em prol do *design* iterativo (que envolve conceber uma solução, construir uma versão interativa e avaliá-la) de metodologias e ferramentas que auxiliem no processo de localização e recuperação de informações em conteúdos audiovisuais educacionais.

5. Conclusões

Este estudo evidenciou o cenário atual das pesquisas sobre a utilização de ferramentas e conceitos da semântica para localizar e recuperar informações em conteúdos educacionais audiovisuais. Além disso, contribuiu com propostas para avanços no emprego da semântica nos processos de reconhecimento das informações presentes em conteúdos educacionais audiovisuais, anotação semântica automática em seus segmentos e estabelecimento de modelos generalizáveis para a recuperação da informação de um conteúdo a partir de características e comportamentos do usuário. Nessa direção, espera-se que esta investigação possa servir de subsídio para reflexões e discussões sobre a indexação e recuperação semântica de informações em conteúdos educacionais audiovisuais.

Referências

- Belizário Júnior, C. F., e Dorça, F. A. (2016) “Uma Abordagem para a Recomendação Inteligente de Conteúdo Web na Criação de Materiais e Objetos de Aprendizagem”. ANAIS DO CSBC 2016, 5 DesafIE!, PUCRS.
- Berners-Lee, T.; Hendler, J.; Lassila, O. (2001). “The Semantic Web - A new form of Web content that is meaningful to computers will unleash a revolution of new possibilities”. [S.l.: s.n.], 34+ p. ISSN 0036-8733.
- Borges, P. R. S. (2016). “Incorporação e recuperação de metadados semânticos em vídeos educacionais”. 110 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2016.
- Carrol, J. M. “Human Computer Interaction - brief intro”. In: Soegaard, Mads, and Rikke Friis Dam. "The Encyclopedia of Human-Computer Interaction." The Encyclopedia of Human-Computer Interaction (2012).
- Chakraborty, J. Padki, A. e Bansal, S. K. (2017) "Semantic ETL — State-of-the-Art and Open Research Challenges," 2017 IEEE 11th International Conference on Semantic Computing (ICSC), San Diego, CA, USA, pp. 413-418.
- Chamasemani, F. F. , Affendey, L. S., Mustapha, N. e Khalid, F. (2015). “Automatic Video Annotation Framework Using Concept Detectors”. Journal of Applied Sciences, 15: 256-263.

- Chou, C. L. , Chen, H. T. e Lee, S. Y. (2017). "Multimodal Video-to-Near-Scene Annotation," in IEEE Transactions on Multimedia, vol. 19, no. 2, pp. 354-366, Feb. 2017.
- Dong, P., Xia, Y., Wang, S., Zhuo, L. Feng, D. D. (2015) "An iteratively reweighting algorithm for dynamic video summarization. Multimedia Tools and Applications", p. 1-25.
- Kate, L. S. Waghmare, M. M. e Priyadarshi, A. (2015). "An approach for automated video indexing and video search in large lecture video archives," 2015 International Conference on Pervasive Computing (ICPC), Pune, 2015, pp. 1-5.
- Mendes, M. M., de Carvalho, V. C., Dorça, F. A., & Cattelan, R. G. (2016) "Uma Abordagem para a Organização Automática de Objetos de Aprendizagem em Ambientes Educacionais Ubíquos com Base em Estilos de Aprendizagem". ANAIS DO CSBC 2016, 5 Desafie!, PUCRS.
- Pirolli, Peter, Card, Stuart K. (1999): Information foraging. In Psychological Review, 106 (4) pp. 643-675.
- Rawat, Y. S., Bhatt, C. e Kankanhalli, M. S. (2014) "Mode of teaching based segmentation and annotation of video lectures," 2014 12th International Workshop on Content-Based Multimedia Indexing (CBMI), Klagenfurt, 2014, pp. 1-4.
- Rogers, Y., Sharp, H. e Preece, J. (2013) "Design de interação: além da interação humano-computador. Bookman".
- S. Yu, H. Cai and A. Liu. (2016) "Multi-semantic Video Annotation with Semantic Network," 2016 International Conference on Cyberworlds (CW), Chongqing, 2016, pp. 239-242.
- Serafim, M. L.; Sousa, R. P. d. Multimídia na educação: o vídeo digital integrado ao contexto escolar. [S.l.: s.n.], 2011. www.teses.usp.br/teses/disponiveis/55/55134/tde.../tesePrazeres.pdf. [Online; Acesso em: 17-out-2014].
- Hu, W. Xie, N., Li, L., Zeng, X. e Maybank, S. (2011)"A Survey on Visual ContentBased Video Indexing and Retrieval," in IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews), vol. 41, no. 6, pp. 797-819, Nov. 2011.
- Wong, W. Y. e Reimann, P. (2009) "Web Based Educational Video Teaching and Learning Platform with Collaborative Annotation," 2009 Ninth IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies, Riga, 2009, pp. 696-700.
- Yang, H. e Meinel, C. (2014) "Content Based Lecture Video Retrieval Using Speech and Video Text Information," in IEEE Transactions on Learning Technologies, vol. 7, no. 2, pp. 142-154, April-June 2014.

Qualidade da Pesquisa Científica Brasileira em Informática na Educação: Desafios e Perspectivas

Patricia A. Jaques¹, Sean Siqueira², Ig I. Bittencourt³, Seiji Isotani⁴

¹PIPCA - Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS)

²Universidade Estadual do Rio de Janeiro (UNIRIO)

³Universidade Federal de Alagoas (UFAL)

⁴ICMC - Universidade do Estado de São Paulo (USP)

pjaques@unisinisinos.br, sean@uniriotec.br

ig.ibert@ic.ufal.br, sisotani@icmc.usp.br

Abstract. *This article aims to discuss the challenge of the quality of the Brazilian scientific research in Computers in Education. Initially, we present the current research scenario as a way of identifying factors that determine the quality and national and international impact of the research in the area. Afterwards, we propose some actions to be accomplished by the Brazilian Special Commission on Computers in Education to promote improvements. These actions are organized in four axes: (i) Curate a history of the area of Computers in Education in Brazil, including public policy initiatives and stories of success and failure; (ii) Rationale of the concepts and terminologies of the area of Computers in Education; (iii) Advancement and Dissemination of the state of the art and practice in the area of Computers in Education; (iv) Dissemination and evolution of research methods in Computers in Education. Finally, to verify the impact of the proposed actions on the quality of Brazilian research in Computers in Education, we propose some metrics, which will allow a quantitative and objective analysis of the impact of the proposed actions.*

Resumo. *O presente artigo busca discutir o desafio da qualidade da pesquisa científica em informática na educação no Brasil. Inicialmente, apresenta-se o cenário atual da pesquisa como forma de identificar fatores que determinam a qualidade e impacto nacional e internacional da pesquisa na área. Após identificação desses fatores, são apresentadas ações a serem realizadas pela comunidade e coordenadas pela Comissão Especial de Informática na Educação a fim de promover melhorias. Essas ações estão organizadas em quatro eixos: (i) Curadoria de um histórico da área de Informática na Educação no Brasil, incluindo iniciativas de políticas públicas e histórias de sucesso e fracasso; (ii) Fundamentação da área de Informática na Educação; (iii) Avanço e disseminação do estado da arte e da prática na área de Informática na Educação; (iv) Disseminação e evolução de métodos de pesquisa em Informática na Educação. Por último, para verificar o impacto das ações propostas na qualidade da pesquisa brasileira na área de IE, o artigo também propõe métricas, o que possibilitará uma análise quantitativa e objetiva das ações propostas.*

1. Introdução

A pesquisa científica brasileira tem motivos para comemorar. Nas três últimas décadas, o país teve seu número de artigos científicos publicados ampliado. Passou de 2.000 artigos por ano em 1981 para 40.500 em 2014 [Oliveira 2016]. Este resultado fez com que a posição mundial do Brasil subisse de 23º para 13º, em se tratando de número de artigos publicados, posicionando o país como líder da América Latina [Cruz 2013].

No entanto, esse papel central contrasta com o baixo impacto (número de citações) e visibilidade (publicações em periódicos de prestígio internacional) das publicações científicas brasileiras [Leta et al. 2013], que chega a ser menor do que alguns países latino-americanos [Oliveira 2016]. Além disso, a ciência brasileira tem sido também criticada pela sua baixa eficiência [Leite 2015], ou seja, o número de artigos publicados em periódicos de alto prestígio internacional é muito baixo em relação ao investimento realizado em pesquisa [Volpato 2015].

Mas como melhorar o impacto das publicações científicas? A publicação de trabalhos de grande impacto se deve a fatores como escolha de problemas científicos com apelo, cientistas altamente qualificados, infraestrutura adequada e habilidade de comunicar os resultados científicos [Oliveira 2016, Volpato 2015].

Na área de Informática na Educação (IE) não é diferente. Para que os pesquisadores apresentem resultados científicos inovadores e de reconhecida qualidade científica internacional é primordial que os autores conheçam o histórico e tenham uma boa fundamentação da área, estando ainda por dentro do estado da arte e da prática em IE. É, sobretudo, primordial que os trabalhos sigam rigorosa metodologia científica, propondo questões de pesquisa para problemas originais e atuais e passando por um processo de avaliação empírica que busque objetivamente mostrar o impacto da abordagem proposta na aprendizagem, direta ou indiretamente, objetivo final da área de pesquisa em IE.

Observa-se, no entanto, que embora a IE tenha mais de 40 anos no Brasil, muitas pesquisas desenvolvidas na área ainda possuem problemas conceituais, apresentação superficial e inadequada do estado da arte e/ou da prática, bem como algumas limitações metodológicas. O Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE) é a principal conferência nacional na área. Em uma revisão sistemática organizada por Magalhães et al. [Magalhães et al. 2013] dos artigos publicados neste simpósio, verificou-se que, dos 835 artigos publicados entre os anos de 2000 a 2010, apenas 29% apresentaram alguma avaliação empírica, seja ela qualitativa (estudo de caso, pesquisa-ação etc) ou quantitativa (experimentos ou quasi-experimentos), embora, os autores relatem um aumento progressivo da quantidade de artigos com avaliações nas últimas edições do evento.

A Comissão Especial de Informática na Educação (CEIE)¹ da SBC tem buscado entender o porquê desses resultados. Uma primeira questão é que embora a área de pesquisa de IE seja inerentemente inter/transdisciplinar, a pesquisa em informática na educação acontece essencialmente em Programas de Pós-Graduação (PPGs) que são voltados a áreas específicas. Por exemplo, geralmente, as universidades brasileiras possuem PPGs em Computação e/ou Educação isolados. Esses programas são avaliados essencialmente pelas qualidades das publicações, segundo o sistema Qualis, que possui classificação por área, atendendo a critérios específicos desta área. Esse cenário não in-

¹<http://ceie-br.org>

centiva o desenvolvimento conjunto de pesquisa entre pesquisadores de áreas diferentes. Tentando minimizar esse problema, o Qualis conta atualmente com a área Interdisciplinar. No entanto, os conceitos dessa área são válidos apenas para PPGs enquadrados nela. Os proponentes estão cientes de um único PPG interdisciplinar brasileiro voltado exclusivamente à IE, o PPGIE da UFRGS. Embora o tema do maior congresso da Sociedade Brasileira de Computação (CSBC) no ano de 2016 tenha sido interdisciplinaridade, e o tema tenha sido mais amplamente discutido na Computação no Brasil nos últimos anos, poucos resultados concretos têm sido vistos no sentido de promover a pesquisa interdisciplinar no Brasil. Dados os desafios da interdisciplinaridade, é essencial que os pesquisadores da área entendam os desafios já enfrentados (histórico), bem como a fundamentação de diferentes conceitos, técnicas, ferramentas etc. de cada área relacionada.

Além disso, uma outra lacuna que se observa é a ausência de materiais específicos para metodologia de pesquisa em Informática na Educação. Realizar pesquisa é mais do que seguir as etapas de um programa de pós-graduação (projeto, exame de qualificação, defesa, entre outros). Ela envolve uma série de métodos que devem ser aplicados de forma crítica e analítica para se gerar um conhecimento científico novo. Isso é importante para que a comunidade avance globalmente em relação aos trabalhos no formato “TCC-like”, que envolvem “uma proposta de um sistema para “alguma coisa” [Wazlawick 2009].

A problemática da interdisciplinaridade, já levantada, também dificulta, além da fundamentação na área, a produção do material para metodologia de pesquisa na área, uma vez que a Informática na Educação engloba métodos de pesquisa de diferentes áreas, como computação, psicologia, educação, entre outros. Observa-se inclusive a escassez de materiais na literatura internacional [Mark and Greer 1993, Greer and Mark 2016]. Não menos importante, a formação dos futuros pesquisadores deve envolver formação específica em escrita científica, como apontado por Oliveira (2016).

Nesse contexto, os autores se perguntaram que ações poderiam ser coordenadas pela CEIE para ajudar a melhorar a qualidade da pesquisa em Informática na Educação no Brasil. As ações propostas estão classificadas em quatro categorias:

- I) Curadoria de um histórico da área de Informática na Educação no Brasil, incluindo iniciativas de políticas públicas e histórias de sucesso e ou fracasso: a comunidade precisa conhecer seu histórico para aprender com erros e acertos passados e trabalhar de forma a avançar incrementalmente a ciência.
- II) Fundamentação da área de Informática na Educação: conhecer os fundamentos das teorias de áreas que fundamentam a IE é essencial para realizar pesquisa com qualidade, baseada em *background* teórico sólido.
- III) Avanço e disseminação do estado da arte e da prática na área de Informática na Educação: conhecer o estado da arte é essencial para propor problemas científicos atuais e originais. O trabalho do pesquisador seria facilitado se esse conhecimento já estiver organizado de maneira sistemática.
- IV) Disseminação e evolução de métodos de pesquisa em Informática na Educação: o conhecimento dos métodos científicos é essencial para seu emprego adequado, de modo a propiciar a validação da pesquisa e, portanto, o desenvolvimento de pesquisa de qualidade.

As ações classificadas de acordo com as categorias supramencionadas são descritas na Seção 2. Para verificar o impacto das ações propostas na qualidade da pesquisa

brasileira na área de IE, propomos métricas, descritas na Seção 3, o que possibilitará uma análise quantitativa e objetiva dos resultados alcançados.

2. Ações para melhoria da qualidade da pesquisa brasileira em Informática na Educação

Com o objetivo de melhorar a qualidade da pesquisa na área de informática na educação, propomos algumas ações a serem assumidas pela comunidade de IE no Brasil e coordenadas pela CEIE. É importante salientar que algumas dessas ações já vêm sendo realizadas pela CEIE, bem como outras soluções ainda podem surgir, evoluindo a proposta original à medida que a comunidade apoie e as tecnologias se desenvolvam. Essas ações estão organizadas em quatro categorias, conforme descrito a seguir.

I) A primeira categoria envolve a realização de uma **curadoria de um histórico da área de Informática na Educação no Brasil**, incluindo iniciativas de políticas públicas (por exemplo, um computador por aluno) e histórias de sucesso e fracasso. A ideia é que esse histórico seja mantido em um portal web multimídia que organizaria a memória da área no Brasil. As seguintes ações são previstas dentro dessa categoria:

- Entrevistar personagens históricos da comunidade de pesquisa em IE. Aqui incluímos profissionais conhecidos por serem pioneiros na área de IE no Brasil ou por terem promovido eventos, periódicos ou outras ações importantes na área.
- Fazer levantamento do histórico das conferências e periódicos mantidos pela CEIE.
- Preparar um *survey* a ser divulgado na comunidade brasileira de IE para levantar as principais ações brasileiras em pesquisa, assim como políticas públicas na área de IE.
- Levantar dados adicionais das ações identificadas no item anterior através de entrevistas, e-mails e acesso a web.
- Organizar de maneira consistente e contextualizada as informações coletadas.
- Disponibilizar as informações do histórico em um portal web multimídia, por exemplo, o próprio portal da CEIE.
- Promover mecanismos de armazenamento, atualização, recuperação, visualização e disseminação do material.

II) A segunda categoria envolve realizar uma **fundamentação da área de Informática na Educação**. O principal objetivo aqui é organizar e manter um repositório evolutivo de conceitos, técnicas, procedimentos, tecnologias etc. importantes para a área de pesquisa em IE no Brasil e suas interseções com o que é realizado internacionalmente. Essa categoria envolveria ações como:

- Organização dos principais conceitos e terminologia da área em uma ontologia.
- Organização das teorias relacionadas a ensino e aprendizagem em um repositório multimídia.
- Organização de um repositório multimídia (portal web) de técnicas e procedimentos de como utilizar informática para apoiar o ensino-aprendizagem.
- Edição de um livro texto na área de Informática na Educação.

- Organização de um portfólio de tecnologias de mercado (e seus fornecedores) utilizadas para apoiar o ensino-aprendizagem.

III) A terceira categoria envolve o **avanço e disseminação do estado da arte e da prática na área de Informática na Educação**. A principal ideia aqui é criar ferramentas que permitam à comunidade de pesquisa em Informática na Educação se atualizar tanto teoricamente quanto tecnologicamente do estado da arte e da prática da área. Essa categoria engloba ações como:

- Criação de um portal colaborativo para os pesquisadores compartilharem suas experiências de pesquisa teórica e tecnológica em Informática na Educação.
- Criação de um repositório de aplicações na área de informática na educação, para que os pesquisadores possam disseminar suas soluções e disponibilizar suas aplicações, incentivando principalmente a filosofia de código e dados abertos.
- Criação de um repositório de conteúdos (abertos) integrador, que permita a busca, compartilhamento e reuso de conteúdos, com a devida acessibilidade, personalização e adaptação, com base na filosofia de dados abertos.
- Divulgação e disseminação das publicações da área de IE no Brasil, buscando aumentar sua visibilidade.
- Organização de um banco de experiências do uso de Informática na Escola para promover a disseminação de boas e más práticas, bem como o compartilhamento de experiências e seus contextos, considerando as diversas facetas envolvidas.

IV) A quarta categoria visa a **disseminação e evolução de métodos de pesquisa em Informática na Educação**. Essa categoria englobaria ações como:

- Edição de um livro voltado à Metodologia de Pesquisa em Informática na Educação e Escrita Científica.
- Catálogo de métodos de pesquisa com exemplos, a ser disponibilizados em um portal da comunidade, complementando o livro.
- Promoção de Painéis para discussão sobre Qualidade da Pesquisa em Informática na Educação nos principais eventos na área (por ex., DesafIE e CBIE).
- Proposta de eventos e cursos específicos, tais como minicursos (por exemplo, JAIE) e Escolas de Verão, voltados à comunidade e que busquem promover uma formação mais multidisciplinar em qualidade na pesquisa em informática na educação, assim como desenvolver nos jovens pesquisadores o pensamento crítico, lógico e analítico-científico e a cultura da qualidade da pesquisa.
- Análise automática de artigos publicados nos principais veículos nacionais de divulgação científica para captura de métodos utilizados.
- Geração de *guidelines* para avaliadores dos eventos da CEIE.
- Criação de repositórios de dados (*benchmarks*). Os *benchmarks* consistem de base de dados para avaliação de ferramentas de um domínio (por exemplo, *benchmarks* de expressões faciais emocionais para avaliação de ferramentas de detecção de emoções). Eles permitiriam comparar as diferentes soluções com os mesmos dados, o que levaria a uma evolução natural destas.

3. Métricas para avaliar o impacto das ações

Por último, para verificar o impacto das ações propostas na qualidade da pesquisa brasileira na área de IE, propomos algumas métricas, o que possibilitará uma análise quantitativa e objetiva dos resultados alcançados com as ações propostas. Essas métricas visam avaliar o impacto das ações propostas neste artigo para a promoção da qualidade da pesquisa na área de Informática na Educação. São elas:

- Verificar se houve aumento do número de artigos publicados com avaliação empírica nas principais conferências e periódicos na área;
- Verificar se houve aumento no número de pesquisadores na área de IE com bolsa de produtividade. Importante observar que essa métrica vai depender de políticas de órgãos de fomento que podem não aumentar o número de bolsas ou até reduzi-las, o que tornaria essa métrica inaplicável. No entanto, caso o número de bolsas permaneça constante, poderá ainda ser observado se, na área da computação e educação, houve migração das bolsas que estavam alocadas para pesquisadores de outras subáreas para pesquisadores de IE;
- Verificar se houve aumento do índice de impacto (e.g. número de citações, geração de políticas educacionais baseada em dados publicados etc.) dos principais veículos de divulgação científica mantidos pela CEIE;
- Verificar se houve aumento do impacto das publicações internacionais na área de IE realizada por brasileiros.

Nossa ideia é que essas métricas sejam aplicadas em um estudo longitudinal, ou seja, em vários momentos nos próximos 10 anos. Isso nos permitiria observar a variação histórica dos dados obtidos pelas métricas, o que possibilitaria ter mais confiança na evolução dos dados, se for o caso, e também avaliar ações que possivelmente tiveram um impacto maior. Por exemplo, se for observada uma evolução mais acentuada nos dados provenientes de uma ou várias métricas, que estavam estáveis, após uma determinada ação, isso pode ser um indício de que aquela ação teve um impacto maior.

4. Conclusão

A pesquisa brasileira fez avanços significativos nas últimas três décadas em relação ao número de artigos publicados, se posicionando como líder na América Latina. No entanto, em se tratando do impacto e visibilidade dessas publicações, assim como da eficiência do investimento em pesquisa, o Brasil está atrás de até mesmo vários países latino-americanos [Oliveira 2016, Volpato 2015]. Essa situação não é diferente na comunidade de pesquisa em Informática na Educação, cujos artigos nos principais veículos de divulgação científica nacionais mostram falhas metodológicas [Magalhães et al. 2013]. A questão é então como aumentar o impacto das publicações científicas brasileiras na área de IE?

Para que a publicação tenha impacto é essencial que apresente resultados científicos inovadores e de reconhecida qualidade científica internacional. Para tanto, é primordial que os trabalhos sigam rigorosa metodologia científica, propondo questões de pesquisa para problemas originais e atuais e passando por um processo de avaliação empírica que busque objetivamente mostrar se os objetivos foram atingidos.

Assim, acreditamos que melhorar o impacto da qualidade da pesquisa em IE é essencial para melhorarmos o seu impacto internacional e também para melhorar a sua

contribuição real à educação brasileira. Esse é um desafio que somente pode ser resolvido através de ações que busquem promover a qualidade científica na comunidade brasileira de pesquisadores. Dessa forma, propomos algumas ações que acreditamos que podem ser promovidas no âmbito da CEIE, com apoio da comunidade de IE no Brasil, de forma a criar uma cultura de valorização da qualidade da pesquisa, assim como promover o conhecimento conceitual e metodológico científico aplicado à área de Informática na Educação. Apenas com o esforço conjunto de amadurecimento da pesquisa em IE no Brasil, conseguiremos efetivamente promover a democratização da Informática na Educação, bem como ter impacto e relevância no cenário internacional.

Referências

- Cruz, C. H. B. (2013). A busca pela excelência nas universidades no Brasil. <http://www.fapesp.br/eventos/2014/01/Excellence/excellence-in-higher-ed-chbc20140122.pdf>. Acessado em 28 de fevereiro de 2017.
- Greer, J. and Mark, M. A. (2016). Evaluation Methods for Intelligent Tutoring Systems Revisited. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 26(1):387–392.
- Leite, R. C. C. (2015). Produção científica e lixo acadêmico no Brasil. Folha de São Paulo, jan., A3, <http://www1.folha.uol.com.br/fsp/opiniao/202892-producao-cientifica-e-lixo-academico-no-brasil.shtml>. Acessado em 6 de abril de 2017.
- Leta, J., Thijs, B., and Glänzel, W. (2013). A macro-level study of science in Brazil: seven years later. *Encontros Bibli: revista eletrônica de biblioteconomia e ciência da informação*, 18(36).
- Magalhães, C. V. C., Santos, R. E., Da Silva, F. Q. B., and Gomes, A. S. (2013). Caracterizando a Pesquisa em Informática na Educação no Brasil: Um Mapeamento Sistemático das Publicações do SBIE. In *XXIV Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*. SBC/CEIE.
- Mark, M. A. and Greer, J. E. (1993). Evaluation methodologies for intelligent tutoring systems. *Journal of Artificial Intelligence and Education*, 4(2/3):129–153.
- Oliveira, O. N. (2016). Research Landscape in Brazil: Challenges and Opportunities. *The Journal of Physical Chemistry C*, 120(10):5273–5276.
- Volpato, G. (2015). *Guia Prático Para Redação Científica*. Best Writing, 1 edition.
- Wazlawick, R. S. (2009). *Metodologia de Pesquisa para Ciência da Computação*. Campus.

Repensando o Desenvolvimento de Tecnologias Computacionais de Apoio à Aprendizagem ao Longo da Vida

Aracele Garcia de Oliveira Fassbinder^{1,2}, Maria Lydia Fioravanti¹, Camila Dias de Oliveira¹, Maurício M. Arimoto^{1,3}, Ellen Francine Barbosa¹

¹Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo (ICMC/USP)

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais (IFSULDEMINAS - Campus Muzambinho)

³Universidade Estadual do Norte do Paraná, Centro de Ciências Tecnológicas (CCT)

aracele.fassbinder@usp.br; mlfioravanti@usp.br;
oliveiracamiladias@gmail.com;mauricioarimoto@gmail.com; francine@icmc.usp.br

Abstract. *This paper presents gaps that have hindered the effectiveness of Lifelong Learning, but that can still be minimized with future and deeper research in Computer Science. Are presented new perspectives of research for the next 10 years, specifically in development of educational modules and environments to support teaching and learning.*

Resumo. *Este artigo discute lacunas que têm impedido a efetividade da Aprendizagem ao Longo da Vida, mas que ainda podem ser minimizadas com pesquisas futuras na área de computação. São apresentadas novas perspectivas de investigação para os próximos 10 anos, especificamente nas linhas de desenvolvimento de módulos educacionais e ambientes de apoio ao ensino e aprendizagem.*

1. Contexto

O atual cenário mundial, o qual tem sido marcado por rápidas mudanças tecnológicas e constante redefinição de normas sociais, econômicas e políticas, têm impactado diversos aspectos associados à aprendizagem. É improvável pensar que a aquisição de conhecimento e desenvolvimento de habilidades aconteçam apenas dentro de ambientes formais, tais como escolas e universidades [Valente 2001]. Portanto, sistemas educacionais e de formação, bem como modelos de aprendizagem, devem se adaptar para responder aos anseios da sociedade do conhecimento.

A ideia de Aprendizagem Continuada ou Aprendizagem ao Longo da Vida (ALV), do inglês *lifelong learning*, tem sido utilizada, por exemplo, para caracterizar estratégias que promovam nos indivíduos a busca permanente, autônoma e rápida por novos conhecimentos, desenvolvimento de habilidades, competências, valores e atitudes, em qualquer fase de suas vidas [Valente 2001, Alheit and Dausien 2006]. Entretanto, fazer isso acontecer na prática requer das pessoas a aquisição e, posteriormente, a manutenção de competências e habilidades que se inter-relacionam, tais como metacognição, aprendizagem colaborativa, autorregulação da aprendizagem, resolução de problemas, criatividade e motivação intrínseca, dentre outras. Em outras palavras, isso significa aprender a desenvolver uma postura que favoreça um engajamento em adquirir e aplicar conhecimento, maior consciência dos próprios caminhos de estudo e aprendizagem, e demanda

ambientes computacionais de aprendizagem capazes de apoiá-los neste processo de planejamento e autogerenciamento do percurso de aprendizagem por diversos cursos, níveis e fases de um sistema educacional e da vida pessoal e profissional [Karoudis and Magoulas 2017].

Considerando essa demanda computacional que apoie o desenvolvimento de habilidades e competências úteis para a incorporação da ALV, diversas tecnologias surgiram e vêm se desenvolvendo (plataformas e aplicações multimídia interativas, tecnologias sociais e colaborativas, computação ubíqua, computação em nuvem, cursos e recursos educacionais abertos, sistemas tutores inteligentes, dentre outras). Elas buscam acompanhar os avanços sociais, tecnológicos e se adaptar às necessidades de ensino-aprendizagem de cada indivíduo, com o objetivo de proporcionar maior interação entre os envolvidos, tornando a troca de conhecimento possível e efetiva.

Entretanto, mesmo com todo o investimento em tecnologias computacionais para esse contexto, a aprendizagem incorporada ao longo de todos os momentos da vida dos indivíduos ainda não é uma realidade ampla e efetiva no século XXI [Demirel and Akkoyunly 2017; Kaplan 2017]. O *Government Office for Science* do Reino Unido¹, por exemplo, pontua algumas lacunas correntes, tais como pessoas consideradas altamente habilidosas, mas que não conseguem usá-las na prática; também destaca a visão dos empregadores, os quais afirmam o despreparo dos estudantes que acabaram de se formar; a perda da motivação por aprender à medida em que envelhecem, dentre outras. Já sob a perspectiva computacional, Karoudis e Magoulas (2017) destacam que os ambientes computacionais precisam ser desenvolvidos com o objetivo de apoiar inovadores frameworks para a ALV, tais como integração entre trabalho e aprendizagem, aprendizagem autorregulada, motivação, aprendizagem colaborativa e organizacional.

Sendo assim, um grande desafio que a comunidade de Computação aplicada à Educação ainda precisa considerar, para os próximos 10 anos, é repensar a forma como tecnologias computacionais, as quais deveriam apoiar a ALV, têm sido projetadas, desenvolvidas e validadas. Nesse cenário, duas linhas principais serão consideradas: i) a elaboração de módulos educacionais e ii) o projeto e desenvolvimento de ambientes de apoio ao ensino e aprendizagem.

Este trabalho tem como objetivo examinar os desafios dessas duas linhas, sob o ponto de vista da aderência às competências e habilidades inerentes da ALV, as quais estão sempre em evolução. Isso demanda uma reforma e uso inovador de pedagogias e tecnologias emergentes, a fim de fornecer aos indivíduos serviços mais adequados, que os ajudem a melhorar suas experiências de aprendizagem.

O artigo está organizado da seguinte forma: a Seção 2 destaca barreiras atuais e vindouras, que impedem a efetividade da ALV, e que a área de Computação pode continuar ajudando a resolver. Já a Seção 3 discute atuais desafios da área de computação que precisam ser aprofundados. Soluções para esses desafios computacionais são descritos na Seção 4. A Seção 5 apresenta algumas propostas para avaliar as ações. Finalmente, a Seção 6 sintetiza as principais ideias deste trabalho.

2. Necessidades e Desafios da Aprendizagem ao Longo da Vida

Diversos agentes^{2,3} da sociedade estão empenhados em criar subsídios para facilitar a ALV, com o

¹ <https://www.gov.uk/government/collections/future-of-skills-and-lifelong-learning>

² <http://www.uil.unesco.org/>

³ http://ec.europa.eu/education/lifelong-learning-programme_pt

intuito de promover mudanças na sociedade, tornando-a mais sustentável, inclusiva, bem como econômica e culturalmente mais desenvolvida. No Brasil, sob o ponto de vista político, grande parte das ações ainda estão voltadas para grupos específicos da sociedade, tais como a Formação Continuada de Professores⁴, repositório de objetos de aprendizagem⁵ e inclusão social⁶.

Já sob o ponto de vista da Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), o quarto grande desafio da Sociedade Brasileira de Computação⁷, definido como “Acesso participativo e universal do cidadão brasileiro ao conhecimento”, busca incentivar o desenvolvimento tecnológico e sua aplicação em prol do acesso universal ao conhecimento. Nesse contexto, é preciso considerar que a ALV requer abordagens tecnológicas holísticas, capazes de apoiar indivíduos de diversas culturas e valores, com diferentes necessidades, estilos de aprendizagem, formação acadêmica e experiências profissionais. Isso se torna desafiador por alguns motivos: (i) é preciso compreender as teorias e fundamentos relacionados ao contexto no qual a ALV surgiu e vem se desenvolvendo, a fim de nortear o desenvolvimento de conteúdos e tecnologias digitais adequadas; (ii) tais conteúdos e tecnologias digitais devem ser projetados para facilitar a ALV e apoiar a criação de oportunidades de aprendizagem formais, não-formais e informais para pessoas de qualquer idade e contexto social; (iii) questões éticas, culturais e sociais também precisam ser consideradas, bem como as diferenças e necessidades das diversas áreas e contextos de atuação, tais como educação continuada em saúde, formação de professores, exatas, etc; (iv) são necessárias mudanças de pensamento sobre formas de ensinar, aprender e avaliar a aprendizagem, e isso implica novas formas de apresentar o conteúdo, adaptar estratégias de ensino para contextos virtuais e móveis, diferentes mecanismos para verificar o conhecimento adquirido e as habilidades desenvolvidas com o uso do conteúdo ou tecnologia digital, dentre outras.

3. Desafios no desenvolvimento de tecnologias computacionais para a ALV

Nesta seção, é discutido como a área de Computação vem contribuindo para a ALV, destacando as principais lacunas de investigação de duas linhas principais que têm sido exploradas pelo grupo de pesquisa: i) a elaboração de módulos educacionais (Recursos Educacionais Abertos) e ii) o projeto e desenvolvimento de ambientes de apoio ao ensino e à aprendizagem (Cursos Abertos Online e Massivos e Aprendizagem Móvel).

Módulos educacionais podem ser compreendidos como sendo unidades concisas de estudo, compostas por conteúdos teóricos integrados a atividades práticas e avaliações, cuja disponibilização aos aprendizes é apoiada por recursos tecnológicos e computacionais [B 2014]. Um exemplo são os Recursos Educacionais Abertos (REAs), definidos como materiais de ensino, aprendizagem e pesquisa em qualquer suporte ou mídia, sob domínio público ou licenciados de maneira aberta, permitindo que sejam utilizados ou adaptados por terceiros [UNESCO, 2011]. Eles têm buscado padronizar os conteúdos educacionais disponibilizados de maneira livre e aberta por meio da Internet e, por conta disso, têm recebido uma atenção especial nos últimos anos [B 2011].

Apesar dos benefícios que REAs podem agregar à educação, existem alguns desafios que podem dificultar a ALV que valem ser destacados: i) promover a utilização dos REAs para

⁴ <http://portal.mec.gov.br/formacao>

⁵ <http://portaldoprofessor.mec.gov.br/index.html>

⁶ <http://portal.mec.gov.br/secretaria-de-educacao-continuada-alfabetizacao-diversidade-e-inclusao/programas-e-acoas>

⁷ <http://www.sbc.org.br/documentos-da-sbc/category/141-grandes-desafios>

ampliação do acesso à instrução em todos os níveis, contemplando a educação formal e informal [UNESCO, 2012]; ii) ampliar a oferta efetiva de REAs, levando-se em consideração não apenas questões técnicas e de gestão, mas também questões culturais, didáticas e pedagógicas [Dinevski, 2008]; iii) produzir materiais de aprendizagem de qualidade, capazes de serem reutilizados e adaptados a diferentes contextos e situações de aprendizagem. Nesse sentido, iniciativas voltadas para apoiar o design e a criação de REAs de qualidade têm sido investigadas [ABB 2015; ABB 2016]. Entretanto, ainda não há um padrão ou norma de qualidade que possa ser usada como referência por parte de instituições, organizações e profissionais envolvidos no desenvolvimento e disponibilização de REAs [Camilleri, Ehlers and Pawlowski 2014; Kawachi 2014].

Já os Ambientes de Apoio ao Ensino e Aprendizagem podem ser caracterizados como a infraestrutura necessária para efetiva disponibilização de módulos educacionais, fornecendo, de forma geral, apoio à estruturação e apresentação dos conteúdos educacionais e à condução de atividades didáticas, de avaliação e de colaboração [B 2014]. Como exemplo, pode-se considerar os Cursos Abertos Online e Massivos (MOOCs⁸) e a infraestrutura relacionada à Aprendizagem Móvel.

MOOCs vêm desempenhando, desde 2012, um importante papel no apoio à aprendizagem ao longo da vida. Eles provêm oportunidades de colaboração e desenvolvimento profissional e acadêmico. O panorama atual das pesquisas sobre MOOCs inclui, por exemplo, o desenvolvimento e oferta de cursos, construção de plataformas específicas (por exemplo Tim Tec⁹, Google Course Builder¹⁰, Coursera¹¹, MiríadaX¹², etc) e validação qualitativa da aprendizagem [FDB 2014; Fassbinder et al. 2016]. Entretanto, apesar da popularidade dos MOOCs, existem problemas que precisam ser minimizados, tais como o uso de abordagens pedagógicas tradicionais na construção de mapas de aprendizagem; a carência de funcionalidades inovadoras nas plataformas de MOOCs, que permitam novas formas de avaliar os estudantes e estimulem a autorregulação da aprendizagem, criatividade e inovação; as configurações das plataformas atuais e outras limitações para interligar atividades síncronas, práticas e presenciais. Adicionalmente, a acreditação de habilidades e competências adquiridas em contextos não-formais e informais de aprendizagem também é um desafio. Se por um lado existe uma demanda pelo reconhecimento do conhecimento adquirido nesse contexto, existe uma desconfiança sobre a certificação da qualidade e validade de documentos emitidos por instituições não formalmente autorizadas. Embora a resolução dessa questão esbarre em questões burocráticas e em interesses institucionais, a computação pode ajudar ainda mais.

A aprendizagem móvel também emergiu, nos últimos anos, como ferramenta de apoio ao ensino e aprendizagem. Entre os benefícios que ela proporciona, podemos citar: desperta o interesse do estudante, estimula a interação social provendo mecanismos de comunicação entre os usuários da aplicação, instiga discussão sobre os materiais dos cursos, além de proporcionar maior autonomia para organizar sua rotina de estudos [Al-Ani, Hameed and Faisal 2013; Huang, Yen-Ting and Shu-Chen 2010; Picek and Matija 2013]. Por outro lado, a aprendizagem móvel também possui algumas limitações, que variam de acordo com a sua aplicação e o contexto no qual ela está inserida. Limitações técnicas incluem lacunas no hardware, baixa capacidade de armazenamento, autonomia

⁸ Do inglês Massive Open Online Courses.

⁹ <http://timtec.com.br/pt/funcionalidades/>

¹⁰ <https://edu.google.com/openonline/index.html>

¹¹ <https://www.coursera.org>

¹² <https://miriadax.net/cursos>

da bateria, tamanho das telas e dos teclados, cobertura da rede móvel, banda estreita e alto custo de acesso [Al-Ani, Hameed and Faisal 2013; Huang, Yen-Ting and Shu-Chen 2010; Picek and Matija 2013]. Já as limitações não técnicas incluem a dificuldade dos indivíduos em iniciar com a tecnologia dos dispositivos móveis, a falta de motivação de estudar fora do ambiente de ensino formal, bem como uma diversidade de recursos nos dispositivos que podem distrair o usuário facilmente. Algumas iniciativas têm sido investigadas e aplicadas para mitigar estas limitações, tais como o desenvolvimento e validação de arquiteturas de referência e arquiteturas de software que apoiem o projeto e desenvolvimento de ambientes educacionais móveis, bem como ambientes educacionais móveis funcionais desenvolvidos com base nessas arquiteturas [Fioravanti et al. 2017], desenvolvimento e validação de linhas de produto de software que apoiem o projeto e desenvolvimento de aplicações educacionais móveis [Falvo Júnior et al. 2014; MB 2017] e a proposição de frameworks para aprendizagem móvel considerando o contexto de ALV [Nordin, Embi and Yunus 2010].

4. Ações para minimizar os desafios computacionais apresentados

Algumas soluções gerais, considerando os desafios apresentados nas Seções 2 e 3, envolvem ações em pelo menos quatro linhas de investigação, a saber: (i) tecnológica, por meio da pesquisa em novos métodos, padrões, técnicas e modelos de desenvolvimento de conteúdo e tecnologias educacionais. Tais tecnologias deveriam considerar a construção de novas funcionalidades que busquem apoiar o desenvolvimento de habilidades metacognitivas e de autorregulação da aprendizagem, bem como aquelas voltadas à avaliação e acompanhamento, que encorajam os estudantes a refletirem sobre como incorporar competências e habilidades no mercado de trabalho e no desenvolvimento da comunidade onde vivem; construção de sistemas interoperáveis, modelagem de perfis de aprendizes que possam servir diversos sistemas e-learning; modelos de arquiteturas de software que facilitem a cooperação e colaboração entre diferentes níveis de aprendizagem (formal, não-formal, informal); e serviços personalizados para ambientes de apoio à aprendizagem continuada; desenvolvimento de Sistemas Inteligentes, uso de dados para prever e verificar o comportamento dos estudantes [Chauhan 2014]; (ii) educacional e pedagógico, por meio da investigação de modelos teóricos que forneçam subsídios para a definição de aprendizagem continuada e que possam ser transformados em requisitos que apoiem o desenvolvimento de tecnologias digitais educacionais; (iii) formação e capacitação, por meio da inclusão, nos cursos da área de Computação e afins, de disciplinas com enfoque multidisciplinar na construção de tecnologias educacionais, bem como aumento do fomento aos projetos de pesquisa e extensão nesse contexto; (iv) design universal e acessibilidade, por meio da relação das linhas de trabalho anteriormente citadas, a fim de promover o desenvolvimento de materiais e plataformas acessíveis a qualquer tipo de usuário (seja com deficiência ou algum tipo de limitação), seguindo princípios e métodos adequados para facilitar e favorecer a ALV.

Por outro lado, considerando soluções específicas envolvendo REAs, destacam-se as seguintes ações: (i) investigar e desenvolver mecanismos que propiciem maior qualidade e produtividade do processo de desenvolvimento durante a elaboração dos REAs; (ii) desenvolver e fornecer REAs de qualidade para várias áreas e domínios de conhecimento, tais como Engenharia de Software, Engenharia de Computação, Sistemas de Informação, Matemática e Estatística, além de expandir sua utilização para a Educação Básica e Educação Profissional; (iii) investigar e propor

modelos e abordagens pedagógicas que se adequem à filosofia ALV; (iv) investigar e desenvolver mecanismos de avaliação e garantia de qualidade específicos para REAs; (v) promover a utilização de técnicas das áreas de Engenharia de Software e IHC (Interação Humano-Computador) para avaliação de usabilidade e acessibilidade dos REAs, com foco em diferentes tipos de usuários; (vi) investigar e desenvolver repositórios acessíveis e mecanismos de busca eficientes para facilitar a descoberta e o reuso de REAs; (vii) investigar e propor modelos de negócio sustentáveis para REAs; (viii) fomentar a inserção da cultura digital e das TICs nas escolas e universidades; e (ix) promover a adoção de software livre e conteúdos abertos por meio de cursos e palestras.

Adicionalmente, no contexto de MOOCs, (i) desenvolver e validar frameworks de apoio à construção de mapas de aprendizagem pautados em uma visão holística e integrada dos principais elementos ligados às metodologias ativas de ensino aprendizagem, colaboração, autorregulagem da aprendizagem, metacognição, avaliação contextualizada, criatividade e inovação; (ii) desenvolver ou adaptar plataformas de MOOCs que incluam recursos que permitam novas formas de avaliação dos estudantes, bem como suportem diferentes estratégias pedagógicas; (iii) desenvolver novas arquiteturas de plataformas que possibilitem a personalização de caminhos de aprendizagem continuada, integrando experiências formais, não-formais e informais, tal como discutido em [Karoudis and Magoulas 2017]. Tais arquiteturas devem agregar fundamentos validados de modelos pedagógicos já existentes e prover facilidade de inclusão de novas ideias a partir de pedagogias emergentes.

Já no âmbito da aprendizagem móvel, (i) propor padrões e/ou linguagens de padrões que forneçam subsídios para a definição de requisitos pedagógicos tanto de ambientes quanto de aplicações móveis educacionais; (ii) criar diretrizes para a produção de conteúdo para aplicações educacionais móveis; (iii) investigar questões de acessibilidade, usabilidade e segurança nas aplicações educacionais móveis; (iv) estímulo a docentes e tutores para utilizar a aprendizagem móvel como ferramenta de apoio.

5. Avaliação das Ações e Resultados

Definir formas de avaliar intervenções nesse contexto poderia ser considerado um desafio a ser investigado, devido à complexidade e dificuldade em definir quantitativamente os impactos das mudanças na sociedade como um todo. Ainda assim, a fim de avaliar os resultados das ações de pesquisa e desenvolvimento para resolver, ou ao menos minimizar, o desafio proposto neste trabalho, sugere-se: (i) monitorar e avaliar o impacto do uso de tecnologia no apoio à ALV sob o ponto de vista do desenvolvimento social, cultural e econômico das sociedades relacionadas; (ii) definir critérios que facilitem a avaliação desse impacto sobre o nível e qualidade do conhecimento adquirido, bem como habilidades desenvolvidas pelo aprendiz; e (iii) analisar os incentivos e políticas públicas para o fomento de projetos nesse contexto. Adicionalmente, dados quantitativos podem ser utilizados, tais como análise da produção científica da área, eventos específicos, livros e softwares.

6. Considerações Finais e Perspectivas Futuras

O uso de tecnologias computacionais como apoio à incorporação da aprendizagem de modo intrínseco e indissociável da vida pessoal e profissional de um indivíduo, em qualquer idade, local

ou situação, têm sido objeto de pesquisas acadêmicas e projetos sócio-políticos ao redor do mundo, há mais de duas décadas. Entretanto, considerando a complexidade dessa abordagem, o seu impacto para a transformação de uma sociedade, as mudanças tecnológicas, sociais e diversos fatores que afetam sua efetividade, podemos pontuar que ações de investigação nesse contexto estão longe de serem total e amplamente exploradas. Este artigo buscou fomentar esse debate por meio da apresentação de algumas lacunas atuais da ALV que ainda podem ser minimizadas com o uso da computação. Foram elencados, também, os desafios correntes da computação, especificamente nas linhas de elaboração de módulos educacionais e desenvolvimento de ambientes de apoio ao ensino e aprendizagem. Reflexões sobre possíveis soluções para tais problemas e formas de avaliar seu impacto também foram destacadas.

7. Agradecimentos.

Os autores agradecem o suporte financeiro das agências brasileiras de fomento (FAPESP, FAPEMIG, CAPES e CNPq) e do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais - IFSULDEMINAS.

8. Referências

- Al-Ani, M. F.; Hameed, S. M. and Faisal, L. (2013) "Students' perspectives in adopting mobile learning at university of bahrain." e-Learning" Best Practices in Management, Design and Development of e-Courses: Standards of Excellence and Creativity".
- Alheit, P. and Dausien, B. (2006) Processo de formação e aprendizagens ao longo da vida. *Educação e Pesquisa*, v. 32, n. 1.
- Arimoto, M. M.; Barroca, L. and Barbosa, E. F. (2016) "AM-OER: An Agile Method for the Development of Open Educational Resources", *Informatics in Education*, v. 15, n. 2 p. 205-233.
- Arimoto, M. M.; Barroca, L. and Barbosa, E. F. (2015) "An agile learning design method for open educational resources", In: 2015 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE).
- Barbosa, E. F.; Maldonado, J. C. (2011) "Collaborative development of educational modules: A need for lifelong learning", *E-Infrastructures and Technologies for Lifelong Learning: Next Generation Environments*—G. D. Magoulas. (Org.), p. 37.
- Barbosa, E. F. (2014) "Módulos Educacionais e Ambientes de Ensino e Aprendizagem: Contribuições e Perspectivas", *Texto de Livre Docência*, USP, São Carlos.
- Camilleri, A. F.; Ehlers, U. D. and Pawlowski, L. (2014) "State of the art review of quality issues related to open educational resources", Technical report.
- Chauhan, A. (2014) "Massive open online courses: Emerging trends in assessment and accreditation", *Digital Education Review*, n. 25.
- Demirel, M. and Akkoyunly, B. (2017) "Prospective teachers lifelong learning tendencies and information literacy self-efficacy", *Educational Research and Reviews*, v. 12, p. 329-337.
- Dinevski, D. (2008) "Open educational resources and lifelong learning", 30th International Conference on Information Technology Interfaces, Croatia, pp. 117 - 122.

- Fassbinder, A.G.O.; Delamaro, M. E. and Barbosa, E. F. (2014) “Construção e Uso de MOOCs: Uma Revisão Sistemática”, In: Brazilian Symposium on Computers in Education (Simpósio Brasileiro de Informática na Educação-SBIE).
- Fassbinder, A. G. O. et al. (2016) “Towards a MOOC Design Model based on Flipped Learning and Patterns: A Case on Introductory Courses”, In: XXI Congresso Internacional de Tecnologia Educativa (TISE), Santiago, Chile.
- Fioravanti, M. L. et al. (2017) "Towards a Mobile Learning Environment using Reference Architectures." 50th Hawaii International Conference on System Sciences.
- Huang, Y.; Yen-Ting L. and Shu-Chen, C. (2010) "Effectiveness of a mobile plant learning system in a science curriculum in Taiwanese elementary education." Computers & Education.
- Falvo Júnior, V. et al. (2014) "Towards the Establishment of a Software Product Line for Mobile Learning Applications." SEKE.
- Kaplan, A. (2017) “Lifelong learning: Conclusions from a Literature Review”, International Online Journal of Primary Education (IOJPE).
- Kawachi, P. (2014) “Quality Assurance Guidelines for Open Educational Resources: TIPS Framework”.
- Karoudis, K. and Magoulas, G. D. (2017) “An architecture for smart lifelong learning design”, In: Innovations in Smart Learning. Springer Singapore, p. 109-115.
- Nordin, N.; Embi, M. A. and Yunus, M. M. (2010) “Mobile Learning Framework for Lifelong Learning”, Procedia - Social and Behavioral Sciences, Volume 7, 2010, Pages 130-138.
- Picek, R. and Matija G. (2013) "Evaluation of the Potential Use of m-learning in Higher Education." Proceedings of the ITI 2013 35th International Conference.
- Marcolino, A. S. and Barbosa, E. F. (2017) "Towards a Software Product Line Architecture to Build M-learning Applications for the Teaching of Programming." Proceedings of the 50th Hawaii International Conference on System Sciences.
- Unesco (2011) “Guidelines for Open Educational Resources (OERs) in Higher Education”. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.
- Unesco (2012) “Declaração REA de Paris”. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.
- Valente, J. A. (2001) “Aprendizagem continuada ao longo da vida: o exemplo da terceira idade”, São Paulo: Cortez, p. 27-44.

Novas possibilidades de avaliação em larga escala na educação básica através do uso de EDM e *Learning Analytics*

Raphael Dourado¹, Rodrigo Lins Rodrigues², Jorge Cavalcanti³,
Alex Sandro Gomes¹

¹Centro de Informática, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)
Av. Jornalista Aníbal Fernandes, s/n - Cidade Universitária - 50.740-560 - Recife – PE

²Departamento de Educação, Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)
Rua Dom Manoel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos - 52171-900 - Recife – PE

³CECOMP, Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF)
Av. José de Sá Maniçoba, S/N - Centro CEP: 56304-917 – Petrolina – PE
rasd2@cin.ufpe.br, rlr@ded.ufrpe.br, jorge.cavalcanti@univasf.edu.br,
asg@cin.ufpe.br

Abstract. *In Brazil, the main strategy for basic education assessment consists in standardized tests, especially those applied by the Basic Education Assessment System (SAEB). However, many researchers criticize the use of this strategy as the only means to diagnose the quality of Brazilian public schools, pointing out, among other limitations, its sparse periodicity. In this context, this paper proposes as a challenge the conception and validation of new evaluation mechanisms, able to provide information about students' performance in real time, through a computational approach based on Learning Analytics and Educational Data Mining (EDM) techniques.*

Resumo. *A estratégia de avaliação da educação básica no Brasil é hoje fortemente fundamentada em exames padronizados, especialmente os aplicados no âmbito do Sistema de Avaliação da Educação Básica (SAEB). No entanto, muitos pesquisadores criticam o uso desta estratégia como único meio para diagnóstico da qualidade das escolas públicas brasileiras, apontando, dentre outras limitações, a sua pontualidade. Nesse sentido, este artigo propõe como desafio a concepção e validação de novos mecanismos de avaliação, capazes de oferecer informações sobre o desempenho escolar dos alunos de forma contínua e em tempo real, por meio de uma abordagem computacional baseada em técnicas advindas das áreas de Learning Analytics e Mineração de Dados Educacionais (EDM).*

1. Introdução

Nos últimos anos, a estratégia de avaliação e acompanhamento da qualidade da educação básica no Brasil tem consistido majoritariamente na aplicação de exames padronizados em larga escala, com periodicidade anual ou bianual (GATTI, 2009). Este tipo de avaliação dos sistemas educacionais surgiu nos EUA a partir da década de 50,

com a aplicação de testes em larga escala, e tem como marco a publicação, em 1966, do Relatório Coleman, que pretendia estudar a segregação racial no sistema educacional norte-americano (FERNANDES e GREMAUD, 2009). A partir de então, os resultados deste tipo de avaliação tem sido utilizados em muitos países como um dos principais instrumentos de fomento à cultura de *accountability* nas escolas, isto é, “um tipo de política de responsabilização dos professores e gestores de escolas pelos resultados nas avaliações externas” (ALAVARSE, 2015).

Embora esta estratégia de avaliação tenha contribuído para um melhor entendimento das deficiências dos sistemas de ensino brasileiros (ALAVARSE et. al, 2013), diversos pesquisadores acreditam que mecanismos de avaliação complementares são necessários, principalmente voltados para o acompanhamento diagnóstico e longitudinal do desempenho dos discentes (Silva et. al., 2016; Esteban e Fetzner, 2015; Travitzki, 2013; Fernandes e Gremaud, 2009; Franco, 2001).

Nesse sentido, a crescente adoção de Ambientes Virtuais de Aprendizagem (AVAs) no ensino presencial – arranjo conhecido como *ensino híbrido*, ou *b-learning* – pode viabilizar novas possibilidades para a avaliação da aprendizagem (WELLS et. al., 2016). Estes ambientes são capazes de coletar e armazenar uma grande quantidade de dados relacionados ao processo de ensino-aprendizagem, os quais podem ser usados como insumos para a criação de mecanismos inovadores de avaliação e acompanhamento dos discentes.

A partir deste contexto, este artigo propõe como desafio a concepção e validação de novos mecanismos de avaliação em larga escala, capazes de oferecer a gestores e professores informações sobre o desempenho escolar dos alunos de forma contínua e em tempo real. Estes novos mecanismos fomentariam a adoção de uma cultura de avaliação formativa em larga escala nas escolas brasileiras, sanando um dos principais problemas do sistema de avaliação em larga escala atual: a falta de velocidade na detecção das dificuldades de aprendizagem dos discentes.

O restante deste artigo está organizado da seguinte forma: a Seção 2 descreve a história, características e limitações dos sistemas de avaliação em larga escala no Brasil, a Seção 3 faz um apanhado dos trabalhos recentes que utilizam uma abordagem computacional para auxiliar na avaliação da aprendizagem, a Seção 4 articula o desafio proposto e sugere uma metodologia para ataca-lo e na Seção 5 são traçadas algumas considerações finais.

2. História e cenário atual das avaliações em larga escala no Brasil

No Brasil, as primeiras iniciativas de avaliação dos sistemas de ensino iniciaram-se na década de 60, tendo como marcos o desenvolvimento de testes educacionais pelo Centro de Estudos de Testes e Pesquisas Psicológicas (CETPP, FGV-RJ) e também os estudos desenvolvidos pelo Programa de Estudos Conjuntos de Integração Econômica Latinoamericana (ECIEL) em meados dos anos 1970 (GATTI, 2009). Porém, é apenas no final da década de 80 que, motivado pelas altas taxas de repetência e evasão nas escolas públicas, o governo brasileiro iniciou os esforços, através do MEC, para institucionalizar um sistema de avaliação do rendimento escolar na educação básica.

Os baixos resultados obtidos nas primeiras experiências de avaliação levaram a um aumento no interesse pelos processos avaliativos, e culminou na criação do Sistema de Avaliação da Educação Básica (SAEB)¹. Atualmente, o SAEB é composto por três exames: a Avaliação Nacional da Educação Básica (Aneb), de caráter amostral, aplicada bianualmente a alunos do 5º e 9º ano do Ensino Fundamental e do 3º ano do Ensino Médio; a Avaliação Nacional do Rendimento Escolar (Anresc), também conhecida como “Prova Brasil”, de caráter censitário e realizada bianualmente envolvendo os alunos do 5º e 9º ano do Ensino Fundamental das escolas públicas; e a Avaliação Nacional da Alfabetização (ANA), também de caráter censitário e aplicada aos alunos do 3º ano do Ensino Fundamental, com o objetivo de avaliar os níveis de alfabetização e letramento em Língua Portuguesa e Matemática na rede pública de ensino. As provas do SAEB são construídas com base na Teoria de Resposta ao Item (TRI) e seus resultados são utilizados para compor o Índice de Desenvolvimento da Educação Básica (IDEB), principal indicador utilizado pelo governo brasileiro para avaliar a qualidade dos sistemas de ensino.

Além dos dados coletados pelo SAEB, os resultados do Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM) — instituído em 1998 e adotado como critério de seleção para o ensino superior em 2009 — também têm sido utilizados para geração de indicadores da qualidade do ensino básico. Os exames do ENEM, assim como os do SAEB, são construídos atualmente de acordo com a Teoria da Resposta ao Item, porém avaliam os estudantes em cinco áreas: Ciências da Natureza, Ciências Humanas, Linguagem, Matemática e Redação.

No entanto, muitos pesquisadores têm apontado as limitações do uso de exames padronizados como única estratégia de diagnóstico da qualidade das escolas públicas brasileiras. Silva et. al. (2016) argumenta que “[as avaliações em larga escala] têm contribuído para essa perda de autonomia escolar, na medida em que essas avaliações não priorizam os processos, mas somente o produto final.” Esteban e Fetzner (2015) criticam o estreitamento curricular e redução do papel da escola provocado pelos exames padronizados, argumentando que “A escola é ocupada por treinamentos para a prova, com exercícios que não apresentam a discussão de questões que possam ser consideradas interessantes pelos alunos ou relevantes para a comunidade” e concluem que “O bom desempenho nas provas transforma-se em objetivo e fim da escola”, visão compartilhada também por Fernandes e Gremaud (2009), que apontam ainda o risco de *gaming*, dado que “as escolas podem adotar estratégias para alterar os resultados, mas que não mudam a qualidade do ensino ministrado como, por exemplo, treinar e motivar os estudantes para os testes ou excluir dos exames alunos de baixa proficiência”.

Franco (2001) aponta ainda outras duas limitações do SAEB: a insuficiência de suas medidas para auxiliar na compreensão de quais fatores influenciam no desempenho dos alunos e a ausência de dados longitudinais, os quais poderiam possibilitar uma avaliação mais abrangente e o acompanhamento do desenvolvimento dos alunos. Lee (2010) também enfatiza a importância dos dados longitudinais para o diagnóstico da qualidade do ensino, e cita o projeto GERES (FRANCO et. al., 2015) como exemplo de iniciativa bem sucedida nesse sentido. Em relação ao ENEM, Travitzki (2013) faz um

¹ <http://portal.inep.gov.br/web/guest/educacao-basica/saeb>

estudo abrangente sobre este exame e alerta que “a supervalorização desses testes cria o risco de colonização do cotidiano escolar pela razão instrumental, empobrecendo as relações intersubjetivas e as práticas pedagógicas”.

Com base nas limitações expostas nesta seção, é possível perceber que há uma carência por mecanismos de avaliação em larga escala que sejam contínuos, abrangentes e diversificados. A próxima seção descreve trabalhos recentes da comunidade de pesquisa em Ciência da Computação que se propõem a resolver problemas semelhantes.

3. Contribuições da computação para avaliação da aprendizagem

Nos últimos anos, os Ambientes Virtuais de Aprendizagem (AVAs) têm sido cada vez mais usados no ensino presencial, dando origem à modalidade conhecida como *ensino híbrido* ou, em inglês, *Blended Learning* ou *b-learning* (BONK e GRANHAM, 2012). No *b-learning*, as melhores características do ensino presencial e à distância são combinadas de forma a utilizar a abordagem mais eficaz para cada momento do processo de ensino-aprendizagem.

Dada a capacidade dos AVAs de coletar, armazenar e disponibilizar grandes quantidades de dados estruturados relativos à interação do aluno com o ambiente, Carvalho et. al. (2014) enxerga na utilização destes ambientes, em contextos de ensino híbrido, um grande potencial para o desenvolvimento de novos mecanismos de avaliação e acompanhamento contínuo dos discentes. Nessa mesma direção, uma nova área de pesquisa da Ciência da Computação tem se consolidado nos últimos anos: a Mineração de Dados Educacionais (EDM, do inglês *Educational Data Mining*). A EDM surge ao mesmo tempo como uma ciência do aprendizado e também como uma rica área de aplicação para Mineração de Dados, dado a crescente disponibilidade de dados relativos a contextos educacionais, possibilitando decisões baseadas em evidência para aperfeiçoar as práticas e materiais de ensino (CALDERS e PECHENIZKIY, 2011).

Tendo em vista as possibilidades da EDM, Mislevy et. al. (2012) enxergam na interseção desta área com o Design Centrado em Evidência (ECD) e a Psicometria um caminho para novas formas de avaliação da aprendizagem, especialmente em larga escala. Os autores propõem uma estratégia para a concepção, desenvolvimento, implementação e validação de mecanismos de avaliação, citando como exemplos de aplicação bem sucedida o programa de treinamento *Cisco Networking Academy*. Já Sandeen (2013) acredita que os MOOCs (*Massive Online Open Courses*) estão promovendo avanços importantes nas estratégias de avaliação, e as novas técnicas que vem sendo desenvolvidas para estes ambientes serão naturalmente adotadas por outras modalidades de ensino.

Outra iniciativa relevante é apresentada por Pimentel e Omar (2008): um modelo para possibilitar a avaliação formativa de alunos em AVAs. Por meio do uso de EDM e índices de mensuração de capacidades e habilidades cognitivas como o KML, KMA (TOBIAS e EVERSON, 2002) e KMB (GAMA, 2004), os autores provaram ser possível o monitoramento cognitivo e metacognitivo dos discentes em um AVA.

Além da mineração de dados, outras técnicas têm sido usadas para apoiar as tarefas de avaliação e acompanhamento dos discentes. Otsuka et. al. (2002), por exemplo, mostram como a utilização de agentes de *software* pode auxiliar na promoção

de modelos de avaliação formativa em AVAs. Os autores descrevem a utilização desta técnica para incorporar mecanismos de avaliação formativa no ambiente TelEduc.

Como pode ser visto nesta seção, já existem iniciativas na comunidade de pesquisa em Computação que propõem novas estratégias de avaliação da aprendizagem amparadas nos dados coletados por AVAs. Na próxima seção, é proposto como desafio alavancar as iniciativas existentes no sentido de criar mecanismos de avaliação contínua e em larga escala para a educação básica.

4. Avaliação contínua em larga escala: um desafio para a computação

Visto a necessidade de mecanismos eficazes e diversificados para avaliação contínua em larga escala dos processos educacionais na educação básica, este artigo propõe como desafio a concepção e validação de tais mecanismos, por meio de uma abordagem computacional amparada no uso de técnicas advindas das áreas de *Learning Analytics* e Mineração de Dados Educacionais (EDM).

De forma a enfrentar o desafio proposto num período de dez anos, descreve-se a seguir três ações e como cada uma delas pode ser avaliada:

1. Ampliar a utilização de AVAs na educação básica, bem como adequar as práticas de ensino para utilizar estes ambientes de forma efetiva, no sentido de promover a modalidade de ensino híbrido. Além de ter potencial para trazer ganhos ao ensino-aprendizagem, o efetivo uso de estratégias de *b-learning* irá garantir a existência de uma massa de dados para suportar a criação de novos mecanismos de avaliação baseados em EDM e *Learning Analytics*. O sucesso desta ação pode ser mensurado a partir da quantidade de escolas utilizando adequadamente estratégias híbridas de ensino, assim como a percepção da comunidade escolar sobre os ganhos com esta mudança.
2. Utilizando-se dos dados disponíveis nos AVAs, desenvolver modelagens comportamentais capazes de medir as mesmas capacidades e habilidades avaliadas por exames como o SAEB e o ENEM, porém de forma longitudinal. Para avaliar o sucesso desta ação, propõe-se incorporar as modelagens desenvolvidas a um ou mais AVAs em uso na educação básica — na forma de um painel de acompanhamento (*dashboard*) — e verificar tanto sua precisão diagnóstica quanto sua contribuição para a melhoria do processo de ensino-aprendizagem. Uma das plataformas que podem ser usadas para este experimento é o Openredu², um AVA de código aberto atualmente em uso por 96 escolas públicas de educação básica em Recife/PE.
3. Investigar que competências, habilidades e fenômenos cognitivos e metacognitivos ainda não avaliados por exames como SAEB e ENEM que podem ser medidos explorando a riqueza de dados disponíveis nos AVAs — como interação entre pares em fóruns de discussão e *chats*; tempo gasto, número de tentativas e estratégias utilizadas na resolução de questões —

² OpenRedu – Rede Social Educacional. <http://www.openredu.org>

por meio de técnicas de EDM e *Learning Analytics*. A efetividade desta ação poderá ser avaliada da mesma forma que a anterior, ou seja, através da realização de experimentos com usuários reais utilizando AVAs em contextos de ensino híbrido.

5. Considerações Finais

Neste artigo, foi apresentada a estratégia atual de avaliação em larga escala da educação básica brasileira, suas características e limitações. Foram mostradas também algumas iniciativas na área da Ciência da Computação que propõem novos mecanismos de avaliação da aprendizagem, amparados principalmente em dados provenientes de AVAs. A partir deste contexto, foi proposto como desafio o desenvolvimento de novos mecanismos de avaliação capazes de oferecer a gestores e professores informações sobre o desempenho escolar dos alunos de forma contínua e em tempo real — e não apenas anualmente/bianualmente — possibilitando assim a tomada de ações pedagógicas imediatas para melhorar a qualidade do ensino e fomentar a cultura de avaliação formativa nas escolas.

6. Agradecimentos

Raphael Dourado é bolsista de doutorado do CNPq, processo nº 140973/2017-6. Alex Sandro Gomes é Pesquisador DTI Nível 2 CNPq nos processos 310.466/2012-1, 475634/2013-6 e 307202/2015-1. Esta pesquisa também é apoiada pela FACEPE APQ 0525-1.03/14.

Referências

- ALAVARSE, O. M., BRAVO, M. H., & MACHADO, C.. Avaliações externas e qualidade na educação básica: articulações e tendências. *Estudos Em Avaliação Educacional*, 24(54), 12–31, 2013.
- ALAVARSE, O. M. Avaliações externas e seus efeitos. *Anais CAEM, USP*, 2015.
- BONK, Curtis J.; GRAHAM, Charles R. *The handbook of blended learning: Global perspectives, local designs*. John Wiley & Sons, 2012.
- BOUSBIA, Nabila; BELAMRI, Idriss. Which Contribution Does EDM Provide to Computer-Based Learning Environments?. In: *Educational data mining*. Springer International Publishing, 2014. p. 3-28.
- CALDERS, Toon; PECHENIZKIY, Mykola. Introduction to the special section on educational data mining. *ACM SIGKDD Explorations Newsletter*, v. 13, n. 2, p. 3-6, 2012.
- CARVALHO, R. S et al. Discussão sobre as Tecnologias de Acompanhamento e Avaliação da Aprendizagem no *Blended Learning*. In: *Anais dos Workshops do Congresso Brasileiro de Informática na Educação*. 2014. p. 223.
- ESTEBAN, Maria Teresa; FETZNER, Andréa Rosana. A redução da escola: a avaliação externa e o aprisionamento curricular. *Educar em Revista*, p. 75-92, 2015.

- FERNANDES, Reynaldo; GREMAUD, Amaury Patrick. Qualidade da educação: avaliação, indicadores e metas. Educação básica no Brasil: construindo o país do futuro. Rio de Janeiro: Elsevier, v. 1, p. 213-238, 2009.
- FRANCO, Creso. The Brazilian System of Assessment for Basic Education (SAEB): potential, problems and challenges. Revista Brasileira de Educação, n. 17, p. 127-133, 2001.
- FRANCO, Creso; BROOKE, Nigel; ALVES, Fátima. Estudo longitudinal sobre qualidade e equidade no ensino fundamental brasileiro: GERES 2005. Revista Ensaio: Avaliação e Políticas Públicas em Educação, v. 16, n. 61, p. 625-638, 2015.
- GATTI, B. Avaliação de sistemas educacionais no Brasil. Sísifo: Revista de Ciências Da Educação, (9), 7–18, 2009.
- GAMA, C. Towards a model of meta-cognition instruction in interactive learning environments [doctoral thesis]. Sussex, England: University of Sussex, 2004.
- LEE, V. E. Dados longitudinais em educação : um componente essencial da abordagem de valor agregado no que se refere à avaliação de desempenho escolar. Estudos Em Avaliação Educacional, 21(47), 531–542, 2010.
- MISLEVY, R. J., BEHRENS, J. T., DICERBO, K. E., & LEVY, R. Design and discovery in educational assessment: Evidence-centered design, psychometrics, and Educational Data Mining. Journal of Educational Data Mining, 4(1), 11–48 (2012).
- OTSUKA, J. L., VIEIRA, H., & ROCHA, D. (2002). Avaliação formativa em ambientes de EaD. XIII Simpósio Brasileiro de Informática Na Educação – SBIE – UNISINOS.
- SANDEEN, C. Assessment's Place in the New MOOC World. Research and Practice in Assessment, 8, p. 5–12, 2013.
- SILVA, Angela Maria Ferreira; LOPES, Pedro Isaac Ximenes; CASTRO, Alda Maria Duarte Araújo. Avaliação da educação no Brasil: a centralidade dos testes em larga escala. HOLOS, v. 7, p. 388-401, 2016.
- TOBIAS, S.; EVERSON, H.T. Knowing what you don't know: Further research on metacognitive knowledge monitoring [College Board Research Report 2002-3]. New York: College Entrance Examination Board (2002).
- TRAVITZKI, Rodrigo. ENEM: limites e possibilidades do Exame Nacional do Ensino Médio enquanto indicador de qualidade escolar. 2013. Tese (Doutorado em Educação) - Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.
- WELLS, Craig S.; FAULKNER-BOND, Molly; HAMBLETON, Else. Educational Measurement: From Foundations to Future. Guilford Publications, 2016.

Oportunidades e desafios no desenvolvimento de Recursos Educacionais Abertos Multiculturais

Edie Correia Santana, Ismar Frango Silveira

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Computação – Universidade Presbiteriana Mackenzie (UPM) - São Paulo – SP – Brasil

edie.santana@svc.ifmt.edu.br, ismar.silveira@mackenzie.br

***Abstract.** The observance of multicultural aspects in open educational resources design is a very important issue, since it impacts directly on the ability of students to have access to it, as well as to learn from its content, since some could not fit to some culture, while are adequate to other. The main goal of this paper is to point out the relevance of this subject as a challenge for Computers and Education field, thus contributing to a new perspective in the context of the design of multicultural open educational resources.*

***Resumo.** A atenção aos aspectos multiculturais no projeto de recursos educacionais abertos se demonstra de alta importância, pois pode impactar na capacidade do aluno acessar o recurso e aprender a partir de seu conteúdo, já que determinadas representações, apropriadas para uma cultura, podem não ser adequadas para outra. Assim, o objetivo deste trabalho é delinear a relevância desse tema como um desafio da área de Informática na Educação, contribuindo com novas perspectivas no design de recursos educacionais abertos multiculturais.*

1. Introdução

Vivemos em uma sociedade multicultural em que as relações entre as pessoas estão em crescente transformação, majoritariamente impulsionadas, ou ao menos afetadas, pela evolução e onipresença das tecnologias da informação e da comunicação (TIC). O amplo acesso à informação e às diversas formas de comunicação tem criado oportunidades para compartilhamento de informações e trocas culturais, que sem as TIC dificilmente seriam possíveis.

No contexto educacional, novas oportunidades de trocas culturais também têm impactado a maneira como se produz e consome conhecimento. A Web 2.0 (e suas renumerações subsequentes) e o advento das redes sociais reverberam na educação demandas por espaços de aprendizagem mais flexíveis e com participação ativa de todos os agentes educacionais, exigindo o repensar das práticas de ensino e dos modelos pedagógicos. Nessa direção, o Desafio 4 da SBC (2016), intitulado “Acesso Participativo e Universal do Cidadão Brasileiro ao Conhecimento” destaca que “existem barreiras tecnológicas, educacionais, culturais, sociais e econômicas, que impedem o acesso e a interação”, prevendo a necessidade de se buscar “a extensão de sistemas computacionais ao cidadão comum, em sua diversidade, respeitando suas diferenças”.

Nesse contexto, o recente movimento de Educação Aberta ganha impulso sobretudo porque a essência de sua filosofia é quebrar as barreiras que limitam o acesso

à educação, proporcionando maiores oportunidades de aprendizagem por meio do amplo acesso, independente de local, cultura e contexto. (OKADA e OKADA, 2007).

Os conceitos básicos desse movimento apontam para o uso efetivo de Recursos Educacionais Abertos (REA), o que potencializa tanto o acesso quanto as possibilidades de reuso, visto que ditos recursos deveriam poder ser alterados, combinados e adaptados para diferentes contextos. Assim, REA, quando projetados de maneira a se adequar aos princípios de abertura, podem satisfazer a diferentes necessidades advindas de outras culturas, costumes, crenças e valores. Porém, é temerária a ideia de se oferecer recursos educacionais, como livros didáticos e recursos multimídia, neutros quanto aos elementos culturais ou até mesmo sem esses elementos, visto que a cultura é parte essencial de qualquer processo pedagógico – de forma que se torna impossível remover os traços culturais de um recurso educacional sem desfigurar o seu próprio papel de elemento de aprendizagem. Fato é que os elementos culturais estão sempre presentes e podem oferecer barreiras, muitas vezes intransponíveis, ao usuário final. Reconhecer a existência desse tipo de barreira é um passo importante em direção a uma educação mais aberta e inclusiva (AMIEL *et al.*, 2011).

Todo este cenário representa um importante desafio para a área de Informática na Educação, que será detalhado nas seções deste artigo. O presente trabalho considera que o conceito de abertura deve ser ampliado para além da socialização de recursos, materiais e conteúdos educacionais. Deve-se inserir o conceito de abertura também no *design* de REA, chegando a algo que pode ser útil não só para a criação de REA com possibilidades de reutilização do material, mas também para pensar em adaptação demandada por demandas culturais como diversidades linguísticas, classe social, sexualidade, habilidades, entre outros aspectos.

2. Recursos Educacionais Abertos e Multiculturalidade

A UNESCO (2002) definiu o termo Recursos Educacionais Abertos referindo-se a materiais de ensino, aprendizagem e pesquisa em qualquer suporte ou mídia, que estão sob domínio público ou estão licenciados de maneira aberta, permitindo que sejam utilizados ou adaptados por terceiros. De acordo com tal definição, REA podem ser desde livros didáticos e artigos acadêmicos até notas de aulas e cursos, além de software, vídeos, e outros artefatos que possam apoiar a aprendizagem e o acesso ao conhecimento.

Na visão de Banzato (2012), os REAs se baseiam em três princípios fundamentais: os materiais devem ter valor educacional; um recurso só é considerado REA se for totalmente aberto, sem custos ou qualquer restrição, estando disponível para reutilização, revisão, recontextualização e redistribuição; e as tecnologias devem ser capazes de dar suporte ao desenvolvimento e às questões pedagógicas dos REAs. Wiley (2014) vem a sistematizar tais fundamentos em seus já conhecidos “Princípios 5R de abertura”, a saber: Reuso (o direito de usar o recurso em distintos contextos); Revisão (o direito de adaptar, ajustar, modificar ou alterar o recurso); Remixagem (no que se refere à combinação de diferentes recursos para a criação de um novo); Redistribuição (de cópias do conteúdo original ou alterado); e Retenção (da licença e dos direitos de manter, possuir e controlar as cópias dos recursos) – este último princípio adicionado a uma lista anterior proposta pelo mesmo autor, com originalmente quatro princípios.

No debate referente à reutilização e adaptação de recursos em um ambiente educacional, é parte imprescindível, na visão de Gasparini (2013), o contexto cultural do aluno que é expresso pelos aspectos e *background* culturais do mesmo. Apesar de não haver consenso na definição de cultura, este termo pode ser entendido em um sentido mais amplo como um conjunto de parâmetros que podem ser utilizados para diferenciar a coletividade social e, na visão de D’Ambrosio (1999), esses parâmetros podem ser normas de comportamento, conhecimento, valores morais, estilos, mitos, entre outros. Em cada cultura, portanto, existe um modo de falar, de pensar, de agir e de se relacionar com outros indivíduos – de fato, vivemos em uma sociedade na qual podemos perceber diversos grupos sociais com suas respectivas culturas e práticas. Nesse sentido, o termo multiculturalismo vem tendo destaque em discussões sobre esse contexto, pois corrobora com a perspectiva de percebermos que vivemos numa sociedade com diversas culturas. Canen (2008), então, diz que o “multiculturalismo é definido como um conjunto de princípios e práticas voltadas para valorização da diversidade cultural e para o desafio de preconceitos e estereótipos a ela relacionado”.

Portanto, em se tratando do uso de recursos educacionais, o contexto cultural inclui a experiência e formação cultural do aluno e pode ter um grande impacto em sua capacidade e eficiência para aprender um determinado conteúdo, já que contexto cultural se refere a diferentes aspectos, tais como os aspectos social, ideológico, político, étnico, as diferentes línguas, valores, normas e as questões relacionados ao gênero (CHANDRAMOULI et al., 2008).

Para Gasparini (2013), o contexto cultural de um usuário molda sua percepção sobre características do sistema: um determinado contexto cultural possivelmente faz com que um usuário se concentre em um conjunto de informações e ignore outros. Assim, as características de um artefato computacional apropriadas para uma cultura podem não ser adequadas para outra e o projeto deste artefato precisa ser adaptado para diferentes culturas.

3. Trabalhos relacionados

Na pesquisa acerca de REA multiculturais, alguns autores têm defendido a ideia que existem fatores que podem inibir ou prejudicar o acesso, ou ainda a apresentação de conteúdos aos alunos. Outros, sabendo desses fatores, têm procurado estratégias para representar soluções que podem dar suporte a múltiplas culturas em REA. A seguir são apresentados alguns trabalhos que apresentam pesquisas nessa direção.

Em um relatório, a OCDE (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico) salientou que as barreiras à utilização ou à produção de REA podem ser categorizadas em barreiras técnicas, econômicas, sociais, políticas e jurídicas (OCDE, 2007). Com um maior nível de detalhamento, Hatakka (2009) identifica 11 fatores que podem inibir o uso efetivo de REA; dentre esses fatores a autora inclui regras e restrições educacionais, linguagem utilizada, relevância, acesso, recursos técnicos, aspectos qualidade, propriedade intelectual, percepção, conhecimento em informática, capacidade de ensino, bem como determinadas práticas e tradições de ensino.

O relatório técnico do GrandIHC-BR (Baranauskas et al., 2012) também aponta nessa direção e amplia a discussão para as frentes de acessibilidade e responsividade, ao incluir aspectos de acessibilidade para pessoas com distintas deficiências, físicas e

cognitivas, e também por envolver a questão de múltiplos dispositivos de acesso. O referido documento, em seu Desafio 2, indica que “é necessária a construção de sistemas que possam ser generalizados para múltiplos dispositivos e ao mesmo tempo especializados para os diferentes usuários com diferentes necessidades”. Portanto, é essencial considerarmos essas questões ao se desenvolver REA para que esses sejam relevantes, úteis e acessíveis a professores e estudantes.

As atuais discussões sobre multiculturalidade em recursos digitais para a aprendizagem são fruto do amadurecimento das pesquisas relacionadas à terminologia de Objetos de Aprendizagem (OA), em cujo contexto vários trabalhos apontam que as questões culturais merecem destaque e atenção (CHEN, 2010; HATAKKA, 2009; AMIEL et al., 2010; MUÑOZ-ARTEAGA et al., 2011).

Chen (2010) sustenta que a relevância de um recurso educacional é sustentada pela sua flexibilidade, pela possibilidade que ele apresenta de adaptação ao contexto local do estudante e pela possibilidade de reutilização. A adaptação ao contexto do estudante, diz respeito a várias perspectivas, entre elas a cultural, por exemplo, alguns exemplos dados em países desenvolvidos podem não ser relevantes para estudantes oriundos de outras culturas e/ou de países menos desenvolvidos.

Amiel et al. (2009) apresentam razões e estratégias para que questões culturais sejam elencadas no processo de *design* de recursos educacionais, no caso, objetos de aprendizagem. Em outro trabalho, Amiel et al. (2011) apresentam uma proposta em que a arquitetura de cada REA variará dependendo da abordagem de cultura escolhida. Para isso, os autores propõem quatro classes para diferenciar abordagens de culturalização no contexto de recursos educacionais, sendo elas: RE (Recursos Educacionais), RESC (Recursos Educacionais com Saliências Culturais), n-Cultura e REAC (Recursos Educacional com Adaptações Culturais)..

Já Muñoz-Arteaga et al. (2011) propõem o desenvolvimento de um REA baseado no padrão de projeto *Presentation-Abstraction-Control* (PAC). Nesse trabalho, diferentes aspectos culturais possíveis do conteúdo do recurso são representados por agentes PAC que poderiam ser selecionados pelos de acordo as necessidades de aprendizagem dos alunos.

Em síntese, tem-se que muitas das pesquisas relacionadas à REA multiculturais se concentraram no reconhecimento e proposição de barreiras e dificuldades que prejudicam o acesso do aluno ao conhecimento por meio de REA. As abordagens de Amiel et al. (2011) e Muñoz-Arteaga et al. (2011) se diferenciaram das outras por apresentarem propostas mais relacionadas com projeto e arquitetura de REA, mas ainda falta uma tratativa mais sistêmica, ou seja, é necessário considerar as questões culturais não somente em algumas partes ou fases do processo de *design* de REA, mas no processo de *design* como um todo.

4. Oportunidades e desafios

Com base no contexto anteriormente detalhado e na análise de trabalhos correlatos, identificam-se na tabela a seguir um conjunto de questões e oportunidades que devem ser consideradas na busca por soluções para este desafio, bem como barreiras na execução dessas questões e os possíveis benefícios a serem alcançados. Na sequência,

apresentam-se detalhes sobre os itens mostrados na Tabela 1 e também um conjunto de ações para medir o sucesso de cada ação e quais procedimentos a serem tomados para enfrentar esse desafio na década vindoura.

Tabela 1: Oportunidades, barreiras e benefícios

Oportunidades	Barreiras	Benefícios
Definição de processos de design instrucional	<p>Um projeto instrucional resolve uma classe de demandas educacionais. No contexto atual existem vários tipos de demandas.</p> <p>Envolvimento das partes interessadas no processo de <i>design</i>.</p> <p>Poucas iniciativas de propostas para <i>design</i> de REA que levem em consideração a complexidade desse recurso.</p>	<p>Iniciativas de novos modelos de processos beneficiariam alunos, professores e instituições com suas diversas demandas educacionais.</p> <p>Processos de <i>design</i> adaptáveis seriam muito interessantes para resolver os problemas oriundos das informações contextuais dos alunos.</p> <p>Considerar as partes envolvidas no processo de <i>design</i> resulta em recursos que fazem mais sentido às pessoas.</p> <p>Considerar que um REA é um artefato complexo, assim como um software, mas não o considerar como um software e não utilizar modelos da engenharia, pode fazer com o que o REA seja mais efetivo.</p>
Evidências de reúso	<p>Há pouca discussão quanto a como esse o reúso pode acontecer. O reúso existe e é possível, porém, não é trivial.</p> <p>Falta a percepção por parte dos usuários e professores a cerca da possibilidade de reúso.</p> <p>Existem diversos REA e cada um tem a sua complexidade. O processo de reúso deve levar isso em consideração.</p> <p>Pouco conhecimento técnico por parte dos usuários para adaptar o REA para o seu contexto.</p>	<p>Com as questões técnicas resolvidas e bem explicadas o acesso e a adaptação dos REA serão facilitados.</p> <p>Podem haver benefícios relacionados a fluência tecnológica dos usuários.</p>
Evidências de inclusão	<p>Muitas barreiras (técnicas, culturais, linguísticas, entre outras) impedem que as pessoas tenham acesso aos REA.</p> <p>Há pouca discussão quanto a como projetar REA multiculturais.</p>	<p>Eliminar essas barreiras significa oferecer uma educação mais aberta e inclusiva.</p>

<p>Melhorias na percepção da comunidade</p>	<p>Alunos e professores estão pouco conscientes do que é um REA.</p> <p>A produção de REA ainda está concentrada em instituições, mesmo assim, o seu uso no processo de ensino-aprendizagem ainda é tímido.</p>	<p>Com REA de fato abertos e flexíveis, a compreensão dos benefícios e a percepção para as vantagens dessa solução irão melhorar.</p>
<p>Padrões abertos</p>	<p>Apesar da existência de muitos padrões, os repositórios de REA ainda apresentam problemas de compatibilidade.</p> <p>REA existem em uma enorme variedade de formatos técnicos.</p> <p>Faltam de ferramentas abertas específicas para a mudança e remix REA.</p>	<p>Com licenças abertas os REA se tornam mais adequados para o reuso e compartilhamento.</p> <p>Com os padrões abertos aplicados nos repositórios, a localização, o reuso e o compartilhamento ficam mais fáceis.</p>

A primeira oportunidade mostrada na Tabela 1 - Definição de processos de *design* instrucional - coloca em foco o tópico *design* instrucional. A motivação para esta oportunidade reside no fato de que sabemos que existem questões multiculturais a serem levadas em consideradas, no entanto, faltam iniciativas de como considerar essas questões nos REA. Além disso, é necessário pensar de forma mais ampla e considerar essas questões no *design* e não somente em fases ou partes isoladas.

A segunda oportunidade, “Evidências de reuso”, chama a atenção para a necessidade de mais iniciativas e estudos acerca do reuso de REA. Silveira (2016) aponta alguns trabalhos que mostram as dificuldades durante esse processo nada trivial, como defendem algumas pesquisas.

A terceira oportunidade torna explícita a preocupação com as questões multiculturais. Na Seção 2 deste trabalho, vimos que há vários aspectos a serem levados em consideração quando falamos de multiculturalidade (etnia, idioma, gênero, religião, valores morais, etc.). O aspecto do idioma traz várias oportunidades de pesquisa no âmbito dos REA, tendo em vista que a grande maioria, 48% deles são disponibilizados em língua inglesa e baseados na cultura ocidental, conforme aponta Nie (2013). Não é difícil imaginar que isto torna, muitas vezes, difícil o reuso em outros países que não possuem a mesma cultura e idioma.

A quarta oportunidade elencada neste trabalho aponta para soluções que busquem evidenciar os REA multiculturais, não só mostrando que eles existem, mas deixando explícito que eles podem ser considerados como verdadeiras alternativas aos materiais educacionais usados atualmente.

Na quinta oportunidade (Padrões abertos), podemos encontrar implicações em todas as outras oportunidades aqui apresentadas. Por exemplo, os padrões abertos favorecem todo o processo de *design* e reuso de REA, pois promovem melhorias desde a elaboração de conteúdos até a comunicação entre pessoas e instituições, além de promover a interoperabilidade entre plataformas, repositórios e tecnologias.

Por fim, são elencadas algumas ações para medir o sucesso alcançados na busca por soluções para este desafio, bem como ações a serem tomadas nos próximos dez anos:

Ações para avaliar o sucesso alcançado

- Acompanhar as produções técnicas e científicas sobre o desafio;
- Verificar a satisfação de alunos de cursos baseados em REA multiculturais;
- Analisar a satisfação e as opiniões de profissionais e instituições que produzem e ofertam cursos com REA;
- Analisar e mensurar a qualidade de REA multiculturais.

Ações a serem tomadas na próxima década

- Incentivar à criação de REA multiculturais;
- Fomentar a criação de disciplinas voltadas para essa temática em cursos de graduação e pós-graduação na área de Informática na Educação;
- Fortalecer e formar grupos de pesquisa na área;
- Incentivar o trabalho interdisciplinar e interinstitucional, na produção de REA multiculturais e na produção científica sobre esse desafio.
- Criar workshops sobre o tema em eventos nacionais e internacionais.
- Organizar repositórios e construir plataformas que possam apoiar o desenvolvimento de REA multiculturais.
- Sensibilizar agentes públicos sobre o tema e as vantagens e benefícios de uma educação mais aberta e inclusiva.

5. Conclusões

No cenário atual se tem discutido como vencer as várias barreiras que impedem o acesso ao conhecimento e como, diante dos avanços das TIC, repensar as práticas e o papel das instituições de ensino. Nesse cenário, a preocupação em vencer as barreiras dos aspectos relacionados à multiculturalidade e a criação de recursos educacionais que promovam a disseminação do conhecimento é uma tendência. Por isso, é importante tratar os aspectos da multiculturalidade no *design* de recursos educacionais abertos, pois influenciam na forma como um REA é entendido, projetado, desenvolvido e utilizado. Assim, este trabalho buscou traçar um panorama de pesquisa e desenvolvimento para a década seguinte, esperando contribuir com as discussões no âmbito da Informática na Educação.

Referências

- AMIEL, T.; SQUIRES, J.; OREY, M. (2009). Four strategies for designing instruction for diverse cultures. *Educational Technology*, v. 49, n. 6, p. 28-34, 2009. Knuth, D. E. (1984), *The TeXbook*, Addison Wesley, 15th ed.
- AMIEL, T.; OREY, M.; WEST, R.. (2011) Recursos Educacionais Abertos: modelos para localização e adaptação. *ETD – Educ. Tem. Dig.*, Campinas, v.12, p.112-125.
- BANZATO, M. (2012). Barriers to teacher educators seeking, creating and sharing open educational resources: An empirical study of the use of OER in education in Italy. In: 15th ICL, Villach: IEEE, 2012.

- BARANAUSKAS, M.C.C.; de SOUZA, C.S.; PEREIRA, R. (2011) I GrandIHC-BR - Grandes Desafios de Pesquisa em Interação Humano-Computador no Brasil 2012 - 2022. Relatório Técnico. Disponível em: http://comissoes.sbc.org.br/ceihc/documentos/RT_GrandIHC_BR_2012.pdf. Acesso em: 14 de Abril de 2017.
- CANEN, A. (2008). O multiculturalismo e o papel da pesquisa na formação docente: uma experiência de currículo em ação. *Currículo sem Fronteiras*, v.8, p.17-30, 2008.
- CHANDRAMOULI, K.; STEWART, C.; BRAILSFORD, T.; IZQUIERDO, E. (2008). CAE-L: An Ontology Modelling Cultural Behaviour in Adaptive Education. In: *Third International Workshop on Semantic Media Adaptation and Personalization*, [S.l.], 2008. Proceedings... IEEE Computer Society, 2008, p. 183- 188.
- CHEN, Qing. (2010). Use of Open Educational Resources: Challenges and Strategies. In: TSANG, P., et al (Org.). *Hybrid Learning*, v.6248, 2010. p. 339-351. LNCS
- GASPARINI, I. (2013). Aspectos Culturais no Modelo do Usuário em Sistemas Adaptativos Educacionais: Fundamentos, Proposta e Experimentação. Tese (Doutorado em Computação). Instituto de Informática - UFRGS, 2013.
- HATAKKA, M. (2009): Build it and they will come? Inhibiting factors for re-use of open content in developing countries. *The Electronic Journal of Information Systems in Developing Countries*, 2009.
- LOM (2000). LOM working draft v4.1. Disponível em: <http://ltsc.ieee.org/doc/wg12/LOMv4.1.htm>. Acesso em: 14 de abril de 2017.
- MUÑOZ-ARTEAGA, J., VANDERDONCKT, J., GONZÁLEZ-CALLEROS, J. M., Orey, M. (2011). An Architectural Model for Designing Multicultural Learning Objects. In *ACHI 2011*, pp. 249 - 253. Gosier, Guadeloupe, France: IARIA.
- NIE, M. (2013). Report on Comparative Analysis of Transversal OER Initiatives. [S. l.]: POERUP Policies for OER Uptake, 2013. 44 p.
- OECD (2007). Giving knowledge for free: the emergence of open educational resources. OCDE Publishing. Disponível em: <http://www.oecd.org/edu/ceri/38654317.pdf> Acesso em: 01 abril 2017.
- OKADA, A.; OKADA, S. (2007). Novos Paradigmas na Educação Online com a Aprendizagem Aberta. In: *Anais da V Conferência Internacional de TIC Educação*, Braga, 2007.
- SBC (2006). Grandes Desafios da Pesquisa em Computação no Brasil – 2006 – 2016. Relatório Técnico. Disponível em: <https://www.gta.ufrj.br/rebu/arquivos/SBC-Grandes.pdf>. Acesso em: 12 de maio de 2017.
- SILVEIRA, I. F. (2016). OER and MOOC: The need for openness. *Issues in Informing Science and Information Technology*, vol. 13, p. 209-223, 2016.
- UNESCO. (2002). Forum on the impact of open courseware for higher education in developing countries: Final report. Disponível em: www.unesco.org/iiep/eng/focus/opensrc/PDF/OERForumFinalReport.pdf. Acesso em: 12 de maio de 2017.

Dados Conectados na Educação

Crystiam K. Pereira¹, Sean W. M. Siqueira¹, Bernardo Pereira Nunes^{1,2}

¹Programa de Pós-Graduação em Informática, Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (UNIRIO) – Rio de Janeiro– RJ – Brasil

²Departamento de Informática, PUC-Rio – Rio de Janeiro – RJ – Brasil

{crystiam.kelle, sean}@uniriotec.br, bnunes@inf.puc-rio.br

Abstract. *The adoption of Linked Data in Education can bring advances to Technology Enhanced Learning, even though some obstacles still need to be addressed. In this paper, we discuss these obstacles from different perspectives, such as privacy and data ownership, the need for public policies to encourage the openness and reuse of data, the difficulties in data publishing and consumption as well as the construction of a scenario of technological innovation in Education through the use of Linked Data. Finally, we also present relevant actions and evaluation indicators to further advance in this field.*

Resumo. *O uso de Dados Conectados na Educação pode trazer avanços para a área de Informática na Educação. Entretanto, alguns obstáculos ainda precisam ser superados. Neste artigo nós os discutimos sob diferentes perspectivas, tais como a propriedade e a privacidade dos dados, a necessidade de políticas públicas para incentivar sua abertura e reutilização, as dificuldades na publicação e consumo de dados, bem como na construção de um cenário de inovação tecnológica na Educação através do uso de Dados Conectados. Finalmente, apresentamos também ações e indicadores de avaliação para avançar nesse cenário.*

1. Contextualização

Dados Conectados podem ser resumidos como o uso da Web para criar conexões entre dados que podem estar armazenados originalmente em diversos bancos de dados, mantidos por diferentes organizações e distribuídos em diferentes localizações geográficas [Bizer et al. 2009].

D'Aquin [2012] explica que há potencial para o uso de Dados Abertos Conectados na Educação em virtude da natureza aberta e acessível dos dados e dos recursos educacionais produzidos por muitas universidades. Dietze et al. [2013] destacam que a publicação e o consumo desses dados podem promover a integração de dados e serviços educacionais, buscando resolver a heterogeneidade entre padrões de APIs (*Application Programming Interface*) e repositórios e, ainda, enriquecer dados através da adoção de vocabulários e da interligação entre dados de fontes heterogêneas.

Em [Alcantara et al. 2015] são apresentados alguns desafios no uso de Dados (Abertos) Conectados na realidade da Educação Brasileira. Os autores mostram que ainda existem poucas iniciativas de abertura de dados educacionais no Brasil, concluindo que a cultura de publicá-los praticamente não existe. No presente trabalho, ampliamos a visão

apresentada em [Alcantara et al. 2015]: (i) os desafios aqui apresentados foram compilados a partir de um mapeamento sistemática de propostas que relataram a publicação e/ou o uso de Dados Conectados na educação em diferentes iniciativas ao redor do mundo, tendo assim desafios específicos da educação, mas também, desafios pertinentes à área de Dados Conectados que se refletem na educação; (ii) damos ênfase a questões técnicas do uso de Dados Conectados na Educação; (iii) focamos em desafios para a publicação dos dados nos padrões de Dados Conectados, já que a publicação de dados em outros formatos (CSV, PDF, DOC, etc) vem evoluindo, mesmo que a passos lentos; (iv) detalhamos desafios existentes em etapas específicas do processo de publicação como a etapa de interligação dos dados; (v) discutimos aspectos não técnicos como a privacidade pessoal; e (vi) apresentamos ações, soluções e tecnologias adotadas para evoluir tais desafios. Além disso, foram considerados os desafios relacionados à inovação tecnológica na Educação, através do uso de dados conectados, com base no ecossistema sugerido em [Kapoor et al. 2015][Siqueira et al. 2016].

As ações sugeridas e associadas a cada um dos desafios são propostas como questões a serem discutidas para implantação a curto, médio e longo prazo, sendo que algumas caminham em paralelo aos desafios gerais da área de Dados Conectados. A visão dos desafios enfrentados por iniciativas ao redor do mundo, bem como possíveis soluções e encaminhamentos podem auxiliar em futuras discussões e direcionar pesquisas e práticas direcionadas para a realidade brasileira.

2. Políticas Públicas de Abertura de Dados Conectados

O incentivo à publicação de dados passa pelo âmbito do desenvolvimento de políticas públicas, de diretrizes de segurança e de definições em relação à propriedade intelectual dos dados que serão publicados e reutilizados. Desafios associados ao incentivo e à cultura de abertura dos dados podem ser sintetizados em: quais são as políticas públicas (e como implantá-las) para incentivar a publicação de dados e desenvolver a cultura de abertura e reutilização de dados?

A realidade brasileira aponta a necessidade de ampliar as discussões e colocar em prática ações imediatas para incentivar a adoção de Dados Abertos Conectados na Educação. Uma auditoria do Tribunal de Contas da União (TCU)¹ (AC-3022-48/15-P), realizada em 2015, avaliou a efetividade das iniciativas de algumas instituições (Ministério da Educação, Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação, Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira) quanto à abertura e transparência dos seus dados governamentais. Os resultados apontaram, entre outros problemas, baixa atuação para promover a abertura de dados públicos, falta de ações estratégicas para a abertura dos dados, disponibilização de dados em formatos que não permitem a leitura por aplicações automáticas e ausência de dados públicos importantes, que ainda não estavam sendo disponibilizados pelas instituições.

A LAI – Lei de Acesso à Informação, Lei nº 12.527/2011, regulamenta o direito constitucional de acesso às informações públicas. Entretanto, dada à importância do amplo acesso às informações relativas à Educação, observa-se que políticas públicas mais específicas precisam ser desenvolvidas para que dados educacionais em seus mais diversos níveis sejam disponibilizados de modo aberto e conectado. Isso permitiria não apenas entender as

¹<https://contratospublicos.com.br/tcu-auditoria-operacional-efetividade-de-iniciativas-de-abertura-de-dados-governamentais-na-area-de-educacao-recomendacoes-determinacoes-arquivamento/jurisprudencia>

estratégias bem e mal sucedidas, mas, principalmente, promover um ambiente de inovação nessa área, resultando em Educação de melhor qualidade com apoio de tecnologia.

O número de instituições educacionais que disponibilizam seus dados de forma aberta e conectada é um indicador importante da efetividade das políticas públicas. A quantidade de *datasets* governamentais e a existência de auditorias e acórdãos no sentido de fiscalizar as iniciativas também são indicadores importantes, tanto do comprometimento governamental com a disponibilização dos dados, quanto da cobrança para que as políticas existentes sejam seguidas.

3. Privacidade pessoal em ambientes de dados educacionais conectados

Antes mesmo de discutir questões operacionais e tecnológicas, há um grande desafio em relação à privacidade pessoal e à propriedade dos dados educacionais. Uma vez que os dados educacionais passem a ser publicados de forma aberta, algumas informações sensíveis dos usuários podem ser expostas, ademais, a conexão dos dados pode revelar informações pessoais, ferindo assim direitos de privacidade pessoal. Esse é um debate necessário, que requer engajamento por parte de diferentes atores e setores. Algumas questões importantes envolvidas são: (i) a quem pertencem os dados educacionais das instituições?; (ii) como e quais dados podem ser disponibilizados?; e (iii) como os dados disponíveis serão utilizados?

Muitos dados educacionais produzidos pelas instituições pertencem aos indivíduos (alunos, professores, tutores) ligados a ela, por isso, podem ser sensíveis à divulgação. No entanto, se por um lado há dados que podem ser particulares a seus usuários, por outro lado os dados educacionais são importantes para promover o entendimento do cenário atual e o desenvolvimento de novas políticas educacionais. Desse modo, deve haver uma política nacional de abertura e conexão dos dados educacionais, mas também uma atenção à privacidade dos dados.

Jeremić et al. [2013] destacam a importância de um envolvimento da comunidade global da Web, não apenas dos educadores, no debate sobre a percepção da privacidade e da propriedade dos dados neste novo contexto de aprendizagem em rede. Corsar et al. [2014] reforçam que o assunto deve ser discutido por diferentes grupos da nossa sociedade e cita pelo menos quatro deles: (1) a comunidade de Dados Conectados (incluindo pesquisadores, desenvolvedores e profissionais); (2) os desenvolvedores de software que obtêm e usam informações pessoais de usuários; (3) os indivíduos que compartilham suas informações pessoais; e (4) os comitês de ética.

Algumas ações que podem ser encaminhadas para avançar nesse debate são: (a) pensar, discutir e implantar políticas de privacidade, diretrizes sobre o que e como algumas informações podem ser publicadas e reutilizadas; (b) criar ferramentas que auxiliem na verificação automática de possíveis problemas de privacidade dos dados (através da análise de algumas propriedades de vocabulários e ontologias, por exemplo); (c) criar alternativas para publicar dados educacionais, mantendo o anonimato dos indivíduos; e (d) buscar alternativas para publicar dados de múltiplos usuários, tornando mais difícil inferir características individuais.

São indicadores importantes para avaliar os avanços a respeito da privacidade e propriedade dos dados: existência de políticas de privacidade dos dados; a existência de licenças indicando como os dados podem ser publicados, modificados e reutilizados;

cumprimento de restrições impostas pelo usuário (se houver); existência e efetividade de mecanismos que garantam o sigilo dos dados pessoais; número de ferramentas que ajudem a detectar possíveis indícios de problemas de privacidade de dados; número de diretrizes com foco na proteção à privacidade dos dados.

4. Publicação de Dados

Grande parte dos dados produzidos por sistemas educacionais estão armazenados em diferentes formatos e fontes de dados. Nesse sentido, alguns desafios se mostram relevantes: (i) como permitir que os dados sejam transformados e estruturados como Dados Abertos Conectados?; (ii) como considerar as especificidades educacionais / pedagógicas desses dados?; (iii) como encontrar vocabulários/ontologias para serem reutilizados na publicação?; (iv) como integrar/interoperar diferentes vocabulários de forma que seja possível atender as especificidades de diferentes domínios-alvo?; e (v) sabendo-se que a educação é um processo contínuo e passível de constantes mudanças, como tratar a atualização dos dados disponibilizados e as mudanças estruturais?

Apesar dos esforços no desenvolvimento e na adoção de várias ferramentas (D2RQ², DB2RDF³, SIMILE RDFizer⁴ e Triplify⁵) para apoiar o processo de publicação de dados, esse ainda requer conhecimentos técnicos muito específicos, por exemplo, o conhecimento de tecnologias semânticas (formatos, vocabulários, ferramentas de conversão e manipulação de dados). Alcantara et al. [2015] propõem como solução a utilização de ferramentas que flexibilizem a interface entre o provimento e a disponibilização dos dados, podendo disponibilizar os dados em diversos formatos que atendam aos diferentes públicos. Outro direcionamento importante é a integração de ferramentas aos principais sistemas educacionais, tendo como objetivo tornar o processo de publicação mais transparente ao usuário, não exigindo conhecimento ou esforços específicos para adaptação aos padrões de publicação de Dados Abertos Conectados.

Os vocabulários/ontologias são especialmente importantes para o uso de Dados Conectados na Educação. Embora existam esforços consideráveis na construção de vocabulários específicos para o domínio educacional, muitos trabalhos acabam criando novos vocabulários (ou estendendo algum já existente) para atender a aspectos específicos de um *dataset* ou por dificuldade em localizá-los.

Jeremić et al. [2013] discutem que o mapeamento entre vocabulários mais específicos e alguns mais amplos e mais utilizados é um direcionamento importante para integrar/interoperar diferentes vocabulários. Essa questão já foi objeto de pesquisa em [Zablith et al. 2011][Dietze et al. 2013], mas diversos problemas persistem como o uso de vocabulários heterogêneos, interpretações e usos distintos para o mesmo padrão de metadados, bem como a falta de consenso nos descritores e descrições.

Jeremić et al. [2013] complementam destacando a necessidade de construir ontologias de domínio para diferentes domínios-alvo, buscando assim ampliar a diversidade de domínios. Disponibilizar os vocabulários/ontologias em bases de conhecimento de anotações de serviços é essencial para melhorar a localização e reutilização desses vocabulários.

² <http://d2rq.org/>

³ <https://sourceforge.net/projects/db2rdf/>

⁴ <http://simile.mit.edu/RDFizers/>

⁵ <http://semanticweb.org/wiki/Triplify.html>

As mudanças contínuas existentes nos repositórios de recursos educacionais são discutidas em [Dietze et al. 2013]. O desafio se estende às mudanças constantes da estrutura de dados ao longo das atividades de aprendizagem, que exigem constantes adaptações para representar corretamente o estado de organização de pessoas, grupos e atividades. É importante também ressaltar que as ontologias usadas precisam continuar representando esse domínio em constante mudança. Em [Vasconcellos et al. 2014], o tema do refinamento automático de ontologias é apresentado como uma possível forma de permitir atualizações em ontologias de forma que as mesmas retratem o domínio atual. Ainda assim, diversas questões continuam em aberto, particularmente: como manter a consistência e manutenção das versões de ontologias e as aplicações em uso e como garantir a confiabilidade de tais refinamentos automáticos.

Faz parte da publicação de dados a etapa de interligação de dados, intra e inter *datasets*. Os desafios dessa etapa na área de Dados Conectados são discutido por [Nunes 2014][Nunes et al. 2013][Nguyen et al. 2013][Wölger et al. 2011]. Os desafios dessa etapa estão presentes na área de Dados Conectados em diferentes domínios e se estendem ao contexto educacional [Dietze et al. 2013]. O uso de vocabulários comuns e o mapeamento entre diferentes vocabulários são ações que ajudam a estabelecer conexões entre os dados abertos educacionais.

O número de *datasets* educacionais disponibilizados, o grau de interligações entre dados ou recursos educacionais em um mesmo *dataset* e entre *datasets* diferentes, o número de vocabulários educacionais e para domínios específicos (diferentes áreas, por exemplo), quantitativo de repositórios de *dataset* e de vocabulários, a completude dos dados disponibilizados (medida pela capacidade do *dataset* em responder consultas, por exemplo) são indicadores que podem ajudar a avaliar as iniciativas de publicação de Dados Abertos Conectados na Educação.

5. Consumo de Dados Educacionais Abertos Conectados

Uma vez que os dados sejam disponibilizados de forma aberta e conectada, há grande potencial na sua utilização. No entanto, para que seja possível usufruir dos benefícios provenientes do consumo de Dados (Abertos) Conectados, alguns desafios também são encontrados: (i) como localizar Dados Abertos Conectados de forma efetiva?; (ii) como encontrar e conectar fontes de dados com assuntos específicos dentro da prática educacional; (iii) como identificar *datasets* para domínios específicos; e (iv) como lidar com a indisponibilidade de *datasets*.

Recuperar Dados Abertos Conectados ainda é um processo que exige conhecimento técnico dos padrões, linguagens e *interfaces*. Ações no sentido de criar interfaces com maior usabilidade e integradas aos ambientes educacionais são necessárias para a construção de sistemas inteligentes que possam impactar de forma eficaz na prática educacional.

A divulgação de novos *datasets* com uma notação semântica apropriada e a criação de repositórios/catálogos específicos para esse fim são ações que podem contribuir para a localização de dados e de recursos educacionais. Disponibilizar dados em formatos que possam ser explorados por outras aplicações também é essencial para a criação de aplicações inteligentes que possam, entre outras coisas, associar recursos a temas específicos, sem a exigência de exaustivas buscas manuais.

A indisponibilidade de *datasets* torna-se um problema de forte impacto quando aplicações passam a explorar conjuntos de dados. Esse ainda é um desafio na área. Hogan et al. [2016] mostram que muitos *datasets* descritos em artigos se tornam indisponíveis pouco tempo após a divulgação/aceitação. Ações focadas na manutenção e atualização constantes de *datasets* são importantes para incentivar o desenvolvimento de aplicações externas e garantir que elas tenham acesso estável e permanente aos dados.

Além dos desafios já citados, há uma grande barreira a ser transposta no sentido de gerar aplicações inovadoras a partir do consumo de Dados Abertos Conectados na Educação. Uma vez que os dados produzidos sejam disponibilizados, despontam-se grandes oportunidades para a elaboração de soluções inovadoras, seja através de análise do contexto educacional atual e tomada de decisão mais consciente e direcionada aos problemas revelados, seja pelo desenvolvimento de aplicações que explorem os dados e recursos disponíveis para melhorar a qualidade da educação brasileira.

Avaliar o consumo de Dados Abertos Conectados na Educação seria possível através de indicadores como: quantidade de aplicações que se beneficiam de dados abertos conectados para trazer soluções e modelos inovadores; quantidade de relatos (publicações científicas, relatórios, experiências etc.) de soluções educacionais desenvolvidas usando dados abertos conectados. A taxa de disponibilidade dos *datasets*, tempo de resposta às consultas, a disponibilidade dos *endpoints* para consultas SPARQL, a capacidade de consumo dos dados por aplicações automáticas e a escalabilidade dos *datasets* também podem ajudar a avaliar a situação e as melhorias no consumo de Dados Abertos Conectados Educacionais.

6. Considerações Finais

Ainda que haja inúmeros desafios, em diferentes perspectivas, o uso de dados conectados na educação está em constante evolução e existem muitas iniciativas buscando enfrentar os desafios listados neste trabalho.

Alguns projetos importantes na publicação e utilização de dados conectados na educação são: o dataset TED Talks⁶ que possui diversas conferências sobre diferentes temas; os datasets do British Museum⁷ e da Bibliothèque Nationale De France⁸, que disponibilizam dados dos seus acervos; a *Open University* [Qing et al. 2012], que publica informações sobre seus cursos; as iniciativas da University of Southampton⁹, Greek University Open Data¹⁰ e Linking Italian University Statistics Project¹¹ que publicam seus dados, incluindo informações administrativas, acadêmicas, produção científica, indicadores educacionais; o mEducator - Linked Educational Resources e o PubMed, que fornecem recursos educacionais num formato de Dados Conectados. Vale ressaltar ainda o projeto LinkedUp¹², que mantém um catálogo e um repositório de dados conectados, ambos relevantes e úteis no cenário educacional [D'Aquin 2016].

Diferentes abordagens/tecnologias estão sendo exploradas e evoluídas para enfrentar

6 <http://data.linkededucation.org/request/ted/sparql>

7 <http://collection.britishmuseum.org/>

8 <http://data.bnf.fr/>

9 <http://sparql.data.southampton.ac.uk/>

10 <http://www.auth.gr/sparql>

11 <http://sw.unime.it:8890/sparql>

12 <http://data.linkededucation.org/linkededup/catalog/>

os desafios na área de Dados Conectados. Para a etapa de publicação de dados, por exemplo, alguns catálogos podem auxiliar o usuário na busca de vocabulários em diferentes domínios, entre eles estão o LOV¹³, o BioPortal¹⁴, o JoinUp¹⁵ e o SCHEMA.ORG¹⁶. Outros vocabulários úteis no contexto educacional podem ser encontrados em <https://linkededucation.wordpress.com/data-models/schemas/>. Na etapa de interligação de dados, existem propostas explorando abordagens/tecnologias distintas para melhorar os resultados de conexão entre dados inter e intra *datasets*, são algumas delas: técnicas de similaridade, busca em grafos, clusterização, inferência (*reasoner*) baseada em lógica e técnicas de aprendizado de máquina [Nikolov et al. 2012][Soru and Ngongo Ngomo 2014].

Os desafios no uso de Dados Abertos Conectados no contexto educacional estão muito relacionados com aqueles percebidos na grande área de pesquisa de Dados Abertos Conectados. Porém, alguns aspectos educacionais requerem ações e direcionamentos de pesquisa específicos e precisam ser trabalhados pela comunidade de Informática na Educação (IE). Esta proposta visa listar estes grandes desafios para a comunidade de IE no Brasil, indicando também possíveis projetos e indicadores de avaliação.

A visão dos desafios enfrentados por iniciativas ao redor do mundo, bem como possíveis soluções e encaminhamentos podem auxiliar em discussões futuras e direcionar pesquisas e práticas direcionadas para mudar a realidade brasileira atual.

Agradecimentos

Este trabalho foi parcialmente financiado pela FAPERJ (projeto E-26-102.256/2013).

Referências

- Alcantara, W., Bandeira, J., Barbosa, A. and Lima, A. (2015). Desafios no uso de Dados Abertos Conectados na Educação Brasileira. *Anais do 4º DesafIE - Workshop de Desafios da Computação Aplicada à Educação*,
- Bizer, C., Heath, T. and Berners-lee, T. (2009). Linked Data - The Story So Far. *International Journal on Semantic Web and Information Systems (IJSWIS)*, v. 5, n. 3, p. 1–22.
- Corsar, D., Edwards, P. and Nelson, J. (2014). Personal privacy and the web of linked data. *CEUR Workshop Proceedings*, v. 1121, p. 1–11.
- D’Aquin, M. (2016). On the Use of Linked Open Data in Education: Current and Future Practices. *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, v. 9500, p. 153–165.
- D’Aquin, M. (2012). Linked Data for Open and Distance Learning.
- Dietze, S., Kaldoudi, E., Dovrolis, N., et al. (2013). Socio-semantic integration of educational resources - The case of the mEducator project. *Journal of Universal Computer Science*, v. 19, n. 11, p. 1543–1569.
- Dietze, S., Sanchez-Alonso, S., Ebner, H., et al. (2013). Interlinking educational resources and the web of data: A survey of challenges and approaches. *Program*, v. 47, n. 1, p. 60–91.

¹³ <http://lov.okfn.org/dataset/lov/>

¹⁴ <http://biportal.bioontology.org/>

¹⁵ <https://joinup.ec.europa.eu/catalogue/repository>

¹⁶ <http://schema.org/docs/schemas.html>

- Hogan, A., Hitzler, P. and Janowicz, K. (2016). Linked Dataset Description Papers at the Semantic Web Journal : A Critical Assessment. v. 7, p. 1–3.
- Jeremić, Z., Jovanović, J. and Gašević, D. (2013). Personal Learning Environments on the Social Semantic Web. *Semant. web*, v. 4, n. 1, p. 23–51.
- Kapoor, S., Mojsilović, A., Strattner, J. N. and Varshney, K. R. (2015). From Open Data Ecosystems to Systems of Innovation : A Journey to Realize the Promise of Open Data. *Bloomberg Data for Good Exchange Conference*,
- Nguyen, K., Ichise, R. and Le, B. (2013). Interlinking Linked Data Sources Using a Domain-Independent System. In *Joint International Semantic Technology Conference*. Springer Berlin Heidelberg. <http://ri-www.nii.ac.jp/SLINT/JIST2012.pdf>.
- Nikolov, A., D’Aquin, M. and Motta, E. (2012). Unsupervised learning of link discovery configuration. *The Semantic Web: Research and Applications*, v. 7295 LNCS, p. 119–133.
- Nunes, B. P. (2014). Towards a well-interlinked Web through matching and interlinking approaches. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.
- Nunes, B. P., Dietze, S., Casanova, M. A., et al. (2013). Combining a co-occurrence-based and a semantic measure for entity linking. In *Extended Semantic Web Conference*. Springer Berlin Heidelberg.
- Qing, H., Dietze, S., Giordano, D., et al. (2012). The Open University’s repository of research publications Linked education : interlinking educational resources and the web of data. In *The 27th ACM Symposium On Applied Computing (SAC-2012), Special Track on Semantic Web and Applications*.
- Siqueira, S., Bittencourt, I. I., Isotani, S. and Nunes, B. P. (2016). Sistemas de Informação baseados em Dados Abertos (Conectados). In *I GrandSI-BR – Grandes Desafios de Pesquisa em Sistemas de Informação no Brasil 2016 a 2026*.
- Soru, T. and Ngonga Ngomo, A.C. (2014). A Comparison of Supervised Learning Classifiers for Link Discovery. In *Proceedings of the 10th international conference on semantic systems*. Association for Computing Machinery.
- Vasconcellos, S., Revoredo, K. and Bai, F. (2014). How Can Ontology Design Patterns Help Ontology Refinement ? v. 12, p. 4–16.
- Wölger, S., Hofer, C., Siorpaes, K., et al. (2011). Interlinking data-approaches and tools. Technical report, STI Innsbruck, University of Innsbruck.
- Zablith, F., D’Aquin, M., Brown, S. and Green-Hughes, L. (2011). Consuming Linked Data within a large educational organization. *CEUR Workshop Proceedings*, v. 782.

A importância da argumentação e da mediação na Educação a Distância e os desafios para a Informática na Educação

Gilda Helena Bernardino de Campos^{1,2}, Gianna Oliveira Roque¹

¹ Coordenação Central de Educação a distância

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro - PUC-Rio

²Departamento de Educação - PUC-Rio

{gilda,gianna}@ccead.puc-rio.br

Abstract.

The practice of pedagogical mediation in distance courses is a recurring theme in the research on distance learning. Based on the assumption that language is a necessary condition for argumentation, we seek in Habermas, in the Theory of Communicative Action, the basis for the process of mediation. From a longitudinal research carried out in a distance specialization course the results suggest that the mediator can contribute to the student's autonomy and emancipation through the exercise of mutual understanding, assumed as a paradigm that guides the process of pedagogical mediation. This paper aims to discuss the challenges and importance of argumentation and mediation in Distance Learning.

Resumo. *A prática da mediação pedagógica em cursos a distância é tema recorrente nas pesquisas sobre EaD. Partindo do pressuposto de que a linguagem é condição necessária para a argumentação buscamos em Habermas, na Teoria do Agir Comunicativo, a fundamentação para o processo de mediação. A partir de uma pesquisa longitudinal realizada num curso de especialização a distância os resultados sugerem que o mediador pode contribuir para a autonomia e emancipação do aluno através do exercício do entendimento mútuo, assumido como um paradigma que orienta o processo de mediação pedagógica. Este trabalho tem por objetivo discutir os desafios e a importância da argumentação e da mediação na Educação a Distância.*

1. Introdução

Algumas questões que vêm sendo aprofundadas pelo Grupo de Pesquisa Cooperação em Educação e Avaliação a Distância do Departamento de Educação da PUC-Rio parecem pertinentes a serem aqui discutidas, pois se relacionam à aprendizagem, à forma na qual aprendemos e como aprendemos, sobretudo quando trabalhamos a distância junto com o professor mediador. Sim, o professor é o mediador da comunidade de aprendizagem que se forma em um curso a distância. Vamos conversar neste artigo sobre a importância da argumentação nos diálogos que se estabelecem nestes cursos e como podemos conduzir os alunos a conquistarem sua autonomia. Diálogos implicam em reciprocidade e, portanto, implicam em uma interatividade que segundo Valle (2012) encontram na educação a distância a possibilidade de uma inversão das atitudes geradas e se confirmaria como um modelo de transformação das arquiteturas pedagógicas uma vez que, entre os

atores deste processo, é necessário que se estabeleça uma ação comunicativa entendendo este tipo de ação como uma forma de ação social. Habermas afirma que é “nesta forma de ação que o ser humano pode estabelecer uma relação reflexiva com o mundo, possibilitando a coordenação da ação social. Mais do que isto, é no Agir Comunicativo que processos de aprendizagem podem resultar na transformação destes mundos” (BANNELL, 2006).

A abordagem da teoria do Agir Comunicativo (HABERMAS, 2012a) nos parece importante para a discussão da educação uma vez que o conceito de racionalidade comunicativa se vincula ao paradigma do mundo da vida, possibilitando uma “conceitualização do contexto social da vida que se revele adequada aos paradoxos da realidade!” (HABERMAS, 2012a, p.11). Discutiremos a questão do mundo da vida e da Teoria do Agir comunicativo ao longo deste artigo e como a argumentação é estabelecida determinando, em nossa conceituação, a autonomia do aluno.

É possível afirmar que, dentre os principais requisitos para que um país esteja inserido na sociedade da informação, conceito por nós utilizado em oposição à economia do conhecimento, destaca-se a necessidade de uma educação que permita aos indivíduos uma formação de novas habilidades que surjam a partir do século XX, principalmente aquelas voltadas para os usos, apropriações e desenvolvimento das Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC). Existem evidências de um consenso entre professores e pesquisadores sobre os ganhos das TICs no processo de ensino e aprendizagem, contudo o grande desafio ainda recai nos usos dessas ferramentas que possibilitem e potencializem a produção do conhecimento e um maior número de incluídos social e digitalmente, não apenas no consumo de informações por meio dessas tecnologias. Neste ponto, ressaltamos que a qualidade de um curso a distância deve recair na dialética que se estabelece entre o professor-aluno-conteúdo e a partir daí na transposição didática realizada através das mídias a serem utilizadas.

2. O grande desafio: a argumentação

Para Habermas é por meio da comunicação e da mudança paradigmática da linguagem, cujos pressupostos são o sentido, a argumentação, o consenso, as relações intersubjetivas e o discurso, que se amplia o conceito de racionalidade. Segundo o autor, a racionalidade comunicativa é processual. “É através da comunicação que nós podemos adotar uma relação reflexiva diante do mundo e é essa relação reflexiva que permite uma perspectiva crítica em relação ao mundo” (BANNELL, 2006, p.55). Habermas desenvolve a teoria consensual da verdade, apresentando a verdade do mundo prático, que se apresenta no momento em que garante um processo de aprendizagem entre uns e outros.

(...) os procedimentos argumentativos básicos – que ele identifica como sendo centrais à validação de conhecimento, definido como esquemas interpretativos adequados para o consenso – são fundamentados e se tornam possíveis pela “organização interna da fala” (BANNELL, 2006, p.55).

No livro Teoria do Agir Comunicativo (HABERMAS, 2012a), especificamente na apresentação à edição brasileira, Sbiebeneichler (2012, p. XI) pontua que Habermas “foca seu trabalho analítico tanto na problemática da racionalidade da ação de sujeitos singulares como na racionalização da sociedade em geral”. Aponta para duas questões:

Será que processos de modernização da sociedade podem ser analisados sob pontos de vista de uma racionalização e, nesse caso, também sob o

ângulo crítico de uma racionalização patológica – colonizadora – do mundo da vida moderno por meios sistêmicos? (p. XI)

Gomes (2009) afirma:

A percepção que temos é que, no mundo atual, a *Bildung* (formação cultural), que poderia proporcionar um sentido emancipatório para a sociedade, encontra-se eclipsada e independentemente desta, sobrepõe-se hegemonicamente, os projetos educativos que se orientam pela racionalidade cognitivo-instrumental, e que, ao invés de promover a emancipação, conduz a sociedade cada vez mais à alienação e à barbárie (p. 231).

Habermas nos apresenta uma possibilidade de construção recíproca da sociedade, da cultura e da personalidade pelas interações mediadas pela linguagem (BANNELL, 2006, 114). A partir daí, focamos no conceito de racionalidade explicitado na Teoria do Agir Comunicativo, pois relaciona-se com a “aquisição e utilização de saber por parte dos sujeitos providos de competência comunicativa”. No prefácio da primeira edição do livro Teoria do Agir Comunicativo, Habermas (2012a) afirma que :

(...) um conceito de racionalidade comunicativa desenvolvido com boa dose de ceticismo, mas mesmo assim resistente às limitações cognitivo-instrumentais impostas pela razão; em seguida, trata-se de um conceito de sociedade em dois níveis, que vincula, de maneira não apenas retórica, os paradigmas “mundo da vida” e “sistema”; por fim, trata-se de uma teoria da modernidade (p.10-11).

O mundo¹ é constituído de linguagem e há uma conexão entre a função cognitiva e a função comunicativa da linguagem. Para Habermas estabelece-se grande relação entre linguagem e razão, pois a racionalidade comunicativa está localizada na linguagem e é nas práticas linguísticas, onde se potencializa a racionalidade.

Segundo Andrade et al (2016, p.940), essa concepção de linguagem, onde o sujeito aprende a partir da argumentação, mobiliza a crítica a entendimentos prévios, diferencia o certo do errado e busca consenso em meio às diferenças culturais (com respeito às respectivas identidades). Também propõe o diálogo no lugar do conflito, através da interação linguística, entre outros. Essas são capacidades emancipatórias no sujeito, que devem ser assumidas como um objetivo da educação.

Ainda segundo as autoras, por meio da linguagem busca-se o entendimento mútuo através do discurso e das pretensões de validade. “O entendimento mútuo ocorre através da interação dos sujeitos que dialogam entre si, tendo em vista o entendimento, utilizando linguagem inteligível para serem compreendidos” (p. 940). O falante expõe a sua pretensão de validade - sem coação - à análise do outro, que pode aderir ou não, aceitá-la ou não, dependendo da validade dos argumentos proferidos: “isso quer dizer que um ato de fala é bem sucedido na medida em que satisfaz as condições necessárias para o ouvinte assumir uma postura de ‘sim’ ou ‘não’ com relação à pretensão de validade levantada pelo falante” (BANNELL, 2013, p. 60).

¹ Habermas (apud BANNELL, 2013) diferencia o mundo da vida dos subsistemas econômico e administrativo. A esfera privada, familiar e esfera pública compõem o mundo da vida. A educação formal se insere no mundo da vida quando a olhamos nos aspectos político e pedagógico e ao mesmo tempo, é um produto do subsistema econômico e administrativo, já que foi criada para formação de mão de obra e é um aparelho do estado burocrático. A educação formal busca conciliar paradoxos nesse e outros aspectos, e a docência não escapa dessa complexidade.

É nessa possibilidade de crítica e avaliação à pretensão de validade do falante que se constitui a autonomia, a responsabilidade. Se aceitarmos uma pretensão de validade somos corresponsáveis, pois foi uma reflexão própria da racionalidade que levou à adesão (ANDRADE et al, 2016, p.940).

A emancipação do indivíduo se daria, portanto, através da interação comunicativa. Mas para isso, o sujeito precisa ser um “Eu, reflexivo”, ou seja, racional e autônomo para participar do discurso.

Todo agente que atue comunicativamente tem que assegurar na execução de qualquer ato de fala, pretensões universais de validade e supor que tais pretensões universais de validade podem desempenhar-se. Na medida em que queira participar em um processo de entendimento, não pode deixar de assegurar as seguintes pretensões universais de validade: a de estar-se expressando inteligivelmente, a de estar dando a entender algo, a de estar permitindo-se a entender, e a de entender-se com os demais. (HABERMAS, 2001, apud GOMES, 2009, p. 240, grifo do autor).

Essa busca pelo entendimento mútuo é uma ação pretendida pelos envolvidos na construção do conhecimento. Tornar inteligíveis as pretensões de validades é uma exigência ao professor que depende dessa comunicação para conduzir sua mediação, levar o aluno à conclusão do curso, preparado para construir seu trabalho de conclusão com qualidade e agregando valor à área de pesquisa. Mas para isso, há que se reconhecer as relações de poder que permeiam o processo de mediação e o “contexto normativo”, que segundo Habermas (2004, p. 117) “explica por que um ator se sente autorizado ou obrigado a determinada ação ou por que ele pode contar com o cumprimento de uma solicitação por parte do destinatário. ” Andrade et al (2016) afirmam que, quando compreendido o contexto normativo pelos envolvidos, pode-se aceitar falas reguladoras pelos mesmos motivos e razões. No caso em questão, as falas reguladoras possuem como fim o desenvolvimento de atividades teórico-práticas que consubstanciarão o trabalho científico através da interação virtual entre professor e alunos.

O professor deve buscar através do entendimento mútuo, o verdadeiro consenso, que deve contemplar:

(a) Publicidade e inclusividade: ninguém que pudesse fazer uma contribuição relevante com relação à pretensão de validade controversial deve ser excluído; (b) iguais direitos de se engajar em comunicação: todo mundo deve ter a mesma oportunidade de falar sobre o assunto discutido; (c) exclusão de enganação e ilusão: participantes devem ser sinceros no que eles dizem; e (d) ausência de coerção: a comunicação deve ser livre de restrições que impeçam o melhor argumento a ser levantado e que determinem o resultado da discussão. (HABERMAS, 1999 apud BANNELL, 2013, p. 49).

Habermas (2004) diferencia entendimento mútuo de acordo para tornar claros os dois conceitos. No acordo, os envolvidos “aceitam uma pretensão de validade pelas mesmas razões” (p. 113) e trata-se de uma pretensão de validade universalmente aceitável, e no entendimento mútuo pode haver uma preferência unilateral, uma intenção específica que não é compartilhada por todos os envolvidos, ainda que o ato comunicativo seja inteligível. Como há relações assimétricas dos envolvidos na construção do conhecimento no decorrer de um curso, ocupando papéis distintos, com vinculação distinta na instituição e no envolvimento com o trabalho, compreendemos que o conceito

de entendimento mútuo representa melhor esta relação e o encadeamento dos atos de fala dos sujeitos (ANDRADE et al, 2016, p.942).

3. Confirmando o desafio

Em recente pesquisa com 2138 respondentes, alunos de pós-graduação *lato sensu*, questionamos a respeito do professor atuando como mediador pedagógico. Os resultados das análises estatísticas realizadas nos mostraram que é possível não só categorizar as respostas dos alunos como estas apontam para a questão da autonomia e emancipação explicitada por Habermas, como veremos a seguir.

Ao examinarmos a Tabela 1, que apresenta o resultado do teste de fidedignidade do questionário, verificamos que a variável latente “Mediador” já se destacava como sendo a mais fidedigna, com Alfa de Cronbach .96, muito acima do resultado das demais variáveis, todas abaixo de .90.

Tabela 1. Fidedignidade das subescalas

Variáveis Latentes	A	Número de Indicadores
Conteúdo	.85	5
Tarefa	.81	5
Ferramentas de Comunicação	.88	6
Mediador	.96	9
Ambiente	.89	8
Auto-avaliação	.81	4
(N=2.138)		

Em relação à opinião dos cursistas sobre a atuação do mediador pedagógico, verificamos uma excelente aprovação dos alunos na forma na qual os mediadores desenvolveram seu trabalho. Essa aprovação está refletida na curva totalmente e positivamente assimétrica, obtida a partir da análise de todas as questões que compreenderam a variável “Mediador”, e citamos algumas: (a) O mediador pedagógico domina o conteúdo da matéria das disciplinas; (b) O mediador pedagógico manteve sempre um bom relacionamento com os cursistas; (c) Todas as discussões promovidas no curso foram acompanhadas pelo mediador pedagógico, que participou e esclareceu as dúvidas que surgiram; (d) O mediador pedagógico trouxe para o curso assuntos de cunho geral (do dia-a-dia) relacionados ao conteúdo da matéria; (e) Houve comprometimento por parte do mediador pedagógico com a qualidade do curso.

Os depoimentos dos alunos mostraram desdobramentos efetivos em sua prática profissional. A mediação pedagógica mostrou que, ao provocar o ato de reflexão nos alunos, pode, também, promover a transformação de sua atuação em sala de aula, sua formação e desenvolvimento profissional. A reflexão conduzindo à possibilidade da argumentação provocou a necessidade da autonomia do aluno refletindo em seu desenvolvimento profissional. No processo de desenvolvimento do curso foi possível perceber que a mediação pedagógica aparecia como uma atividade permanente e individualizada, para acompanhar os alunos e oferecer a cada um o auxílio necessário à crítica e avaliação a pretensão de validade do falante em algum específico contexto. Logicamente, seria possível discutirmos as diferentes formas que a mediação pedagógica assume, mas cremos que a mediação está diretamente relacionada ao professor e ao aluno.

Nesta díade que se estabelece é possível compreender a busca da autonomia e, em última análise, o ofício do professor. Na análise dos componentes principais das respostas obtidas ao questionário foi possível perceber que apenas dois componentes foram suficientes para explicar a variância, e que os itens mais relacionados com a variável sintética “Mediador” são justamente os itens de maior correlação com o primeiro componente principal. O exame das linhas iniciais da análise estatística indicou que são todas ocupadas por indicadores ou itens referentes ao professor mediador do curso.

4. Comentários Finais

Como conclusão da análise realizada, ressaltamos que para os alunos o mediador pedagógico é de fundamental importância a fim de que o curso obtenha sucesso, no entanto, percebemos a dificuldade de reconstrução da prática do professor. Prado e Silva (2009) ressaltam, citando outros autores, que o conhecimento adquirido pelo professor durante o curso de formação precisa ser recontextualizado na sua prática pedagógica. “A recontextualização implica integrar os diferentes recursos tecnológicos aos conteúdos curriculares e dar vida às teorias educacionais na realidade da escola” (p.63).

Dentre todas as competências exigidas ao longo do processo de mediação, quatro delas se destacam por permearem todas as demais e, citamos: atenção, clareza, visão sistêmica e resiliência. Elas são competências complementares e, cada uma é fundamental para que as demais possam fluir de forma natural. Coelho (2011) resalta que Habermas não trata da prática pedagógica na escola ou no Ensino Superior mas seu pensamento pode ser utilizado indiretamente “se levarmos em conta o modelo de racionalidade proposto” (p.91). Ressalta, a partir da pragmática da linguagem algumas “características, atributos ou predisposições que contribuem para uma racionalidade intersubjetiva, tais como: paciência, clareza na exposição, gentileza, perspicácia, capacidade de saber ouvir o outro e incluí-lo no debate, atenção à ambiguidade sempre presente na língua corrente e à falta de clareza dos termos (p.92). Percebemos exatamente estas características não só na “fala” dos alunos como também na literatura consultada. Algumas questões se entrelaçam ainda a partir dos resultados, a saber: Será que as ferramentas nos ambientes de aprendizagem on-line são suficientes para garantir a argumentação? A formação dos professores é adequada à mediação no sentido proposto por Habermas?

Outras questões surgem quando pensamos nos modelos de educação a distância que vemos no país, com turmas gigantescas para um único professor mediador. A partir da dificuldade em garantir a argumentação nesse tipo de turmas, novas ferramentas tem sido implementadas como o FAT, (F)orum (A)ssessment (T)ool, uma ferramenta que auxilia os mediadores, em tempo real, à avaliação das discussões no fórum, utilizando tecnologia semântica e métodos estatísticos que buscam, expõe e recomendam tópicos relevantes que foram discutidos e devem ser aprofundados pelo mediador (NUNES et al., 2015). Outro exemplo é o *Highlight*, uma ferramenta que apoia os alunos na aprendizagem dos conteúdos em EaD (NUNES et al., 2011). Ainda apontamos para o desafio de formar os mediadores para uso destas novas ferramentas que devem ser desenvolvidas para atender às necessidades dos alunos a fim de possibilitar a real argumentação dos mediadores.

Referências bibliográficas

ANDRADE, J. Z. ; SILVA, E. C. ; MELO, K. S. ; ROQUE, G. O. B. ; CAMPOS, G. H. B. . Construindo a Mediação a partir do Conceito de Entendimento Mútuo em Habermas. In: IV Congresso TIC e Educação, 2016, Lisboa. IV Congresso TIC e Educação, 2016.

- BANNELL, Ralph. I. Teoria do Agir Comunicativo: Esfera pública e a formação da opinião pública. Trabalho apresentado no 2º. Seminário Internacional de pesquisa em Comunicação. Programa de Pós-graduação em Comunicação social. UFSM, 2006.
- _____. Habermas & a educação. 2ª. Ed. Belo Horizonte. Autêntica Editora, 2013.
- CAMPOS, G. H. B. de; ZIVIANI, C.; ROQUE, G. O. B. Análise da Avaliação da Qualidade em Educação a Distância no Modo 2 da Produção do Conhecimento. Revista e-Curriculum, São Paulo, v.11 n.01 abr.2013. pp. 181-200. Disponível em <http://revistas.pucsp.br/index.php/curriculum/article/view/9320/11306>.
- COELHO, M. B. Qualidade Argumentativa: Uma Competência Política na Esfera Pública. In: Ralph Ings Bannell; Rita Vilanova; Cláudia Fenerich.. (Org.). A Formação para a Cidadania e os Limites do Liberalismo. Rio de Janeiro: 7 Letras. 2011.
- GOMES, L.R. Educação e Comunicação em Habermas: o entendimento como mecanismo de coordenação da ação pedagógica. Cadernos de Educação. Pelotas, [33]. Retirado de: <https://periodicos.ufpel.edu.br/ojs2/index.php/caduc/article/viewFile/1659/1542> . 2009
- HABERMAS, Jürgen. Verdade e Justificação: ensaios filosóficos. Edições Loyola, São Paulo, 2004.
- _____. Teoria do Agir Comunicativo 1: Racionalidade da ação e racionalização social. Tradução: Paulo Astor Soethe. São Paulo: Editora WMF Martins Fontes, 2012a.
- _____. Teoria do Agir Comunicativo 2: sobre a crítica da razão funcionalista. Tradução: Flávio Beno Siebeneichler. São Paulo: Editora WMF Martins Fontes, 2012b.
- NUNES, B. P.; SCHOTTLER, A. ; Feliciano, L. ; CAMPOS, G. H. B. . Highlight: A support tool in distance education courses. In: International Conference and Advanced Technology in Education - ICCATE 2011, 2011, Beijing. International Conference and Advanced Technology in Education, 2011.
- NUNES, B. P.; TYLER-JONES, M. ; CAMPOS, G. H. B. ; SIQUEIRA, S. W. M. ; CASANOVA, Marco A. . FAT: A real-time (F)orum (A)ssessment (T)ool to assist tutors with discussion forums assessment. In: The 30th ACM/SIGAPP Symposium On Applied Computing, 2015, Salamanca. SAC 2015: Symposium on Applied Computing Proceedings, 2015.
- PRADO, M. E.B., SILVA, M. G. M.. Formação de educadores em ambientes virtuais de aprendizagem. In, Em Aberto, Brasília, v.22,n.79,p.47-74,jan.2009
- ROQUE, G. O. ; Campos, G. H. B. ; SANTOS, C. S. . Quality in Distance Learning Courses: A longitudinal survey of teacher training in federal programs. In: Susan Zvacek; Maria Teresa Restivo; James Uhomoihi; Markus Helfert. (Org.). Quality in Distance Learning Courses: A Longitudinal Survey of Teacher Training in Federal Programs. 1ed.Switzerland: Springer International Publishing Switzerland, 2015, v. 583, p. 241-255.
- VALLE, L. do; BOHADANA, E. Interação e Interatividade: por uma reantropolização da EaD Online. Educ. Soc., Campinas, v. 33, n. 121, p. 973-984, out.-dez. 2012. Disponível em <http://www.cedes.unicamp.br>.

Modelagem de Engenharia da Cognição: Levantando o Cognoma Humano

Carla Verônica M. Marques¹, Carlo E.T. Oliveira¹, Claudia L.R. Motta^{1,2}

¹Instituto Tércio Pacitti de Aplicações e Pesquisas Computacionais
Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)
CEP 21941-916 – Rio de Janeiro – RJ – Brasil

²Programa de Pós-Graduação em Informática– PPGI/UFRJ
Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)
Rio de Janeiro, RJ - Brasil.

{carla.veronica,carlo,claudiam}@nce.ufrj.br

Abstract. *To study human cognition is to increase knowledge about ourselves and open new possibilities for human improvement. Cognition is the mechanism by which all learning, reasoning and reflection on any knowledge is realized. Understanding cognition is a crucial path for fair and equitable access to knowledge and understanding of the world around us. The creation of cognitive models is a complex challenge that involves an interdisciplinary effort, constituting a vast field of research to be explored. The development of solid cognitive models can enable a whole new aspect of the human-machine interface. The computer will go from a luxury accessory to an effective and powerful instrument in the hands of teachers, making your work more productive and less frustrating.*

Resumo. *Estudar a cognição humana é aumentar o conhecimento sobre nós mesmos e abrir novas possibilidades para o aperfeiçoamento humano. A cognição é o mecanismo pelo qual se realiza todo o aprendizado, raciocínio e reflexão sobre qualquer conhecimento. O entendimento da cognição é um caminho crucial para haver um acesso justo e igualitário ao conhecimento e à compreensão do mundo que nos cerca. A criação de modelos cognitivos é um desafio complexo que envolve um esforço interdisciplinar, constituindo um vasto campo de pesquisa a ser explorado. O desenvolvimento de modelos cognitivos sólidos pode viabilizar todo um novo aspecto da interface homem-máquina. O computador passará de um acessório de luxo para um instrumento eficaz e poderoso nas mãos dos professores, tornando o seu trabalho mais produtivo e menos frustrante.*

1. Importância e benefícios de modelos cognitivos

Estudar a cognição humana é aumentar o conhecimento sobre nós mesmos e abrir novas possibilidades para o aperfeiçoamento humano. A profundidade da mente humana é ainda uma fronteira pouco explorada, mas de grande significado para o avanço individual e da sociedade. Sendo um assunto de grande complexidade, é essencial que

se produzam simplificações que permitam que se lide de maneira sucinta e racional com o processo cognitivo.

Um modelo de engenharia tem por premissa que se entenda o funcionamento do objeto estudado como uma máquina. O modelo de engenharia da cognição permitirá que se entenda melhor a cognição através de um sistema que apresenta um desenvolvimento semelhante ao processamento humano. A modelagem de engenharia resulta em sistemas que podem ser facilmente implementados em uma forma computacional.

Um modelo cognitivo pode acompanhar o desenvolvimento do entendimento humano e permitir localizar os pontos onde o processo de aprendizagem resultou em sucesso ou fracasso. A implementação deste modelo em forma computacional pode aprender e adquirir em grande profundidade o conhecimento do sistema cognitivo humano, interpretando indícios obtidos da interação homem-máquina.

O desenvolvimento de modelos cognitivos sólidos pode viabilizar todo um novo aspecto da interface homem-máquina. As interfaces correntes ainda encaram o usuário como um estranho. Na medida que a máquina consegue sincronizar com o processo cognitivo, o computador se torna uma nova prótese. A cognição então passa a informar o computador das oportunidades que se apresentam para que este apresente uma intervenção coerente e tempestiva.

2. Justificativa e contribuição para a temática

A cognição é o mecanismo pelo qual se realiza todo o aprendizado, raciocínio e reflexão sobre qualquer conhecimento. Também nela se encontra todo obstáculo ao entendimento quando algum mecanismo ou procedimento cognitivo não está perfeitamente funcional. O entendimento da cognição é um caminho crucial para haver um acesso justo e igualitário ao conhecimento e à compreensão do mundo que nos cerca.

A criação de modelos cognitivos é um desafio complexo que envolve um esforço interdisciplinar, constituindo um vasto campo de pesquisa a ser explorado. O estudo da cognição envolve diversas áreas como a psicologia, a fonoaudiologia, a psicopedagogia, a linguística, a lógica/matemática entre outras. Este conjunto de campos, nem todos sendo ciências exatas, requer um esforço criativo no engendramento de soluções e heurísticas que permitam mapear assertivas filosóficas em soluções computáveis.

Um modelo cognitivo computacional é um instrumento valioso no processo educacional, capaz de nortear estratégias de ensino e auxiliando na avaliação das competências auferidas no processo. Modelar a cognição significa ir além do típico paradigma estímulo-resposta para se avançar na introspecção dos mecanismos internos da aprendizagem. A máquina cerebral oferece paradigmas ainda inexplorados que irão aumentar o arsenal de esquemas disponíveis para solução de problemas computacionais. Em contrapartida, o modelo cognitivo computacional se tornará uma ferramenta importante na análise e entendimento dos problemas de aprendizagem. Consequentemente, toda esta informação disponível, trará à tona as reais falhas do processo de ensino e a oportunidade de se intervir com conhecimento de causa.

3. O propósito do desafio de modelagem cognitiva

O desafio de modelagem da cognição propõe a construção de sistemas computacionais capazes de sintetizar o conhecimento que os pesquisadores da área já dispõem sobre o assunto. O modelo cognitivo deve simultaneamente atender os fundamentos descritos na teoria e ser simples bastante para ser computacionalmente factível. A simplificação do modelo não deve comprometer a sua usabilidade, ou seja, os resultados do modelo ainda devem ser dignos de confiança.

O desafio envolve o estudo de modelos já desenvolvidos pelos teóricos e sua adaptação a um objeto computacional. O modelo resultante deve ser capaz de ilustrar e mimetizar um funcionamento mental comprovável pela própria engenharia do sistema. Um dos principais desafios é superar a não observabilidade da cognição. A cognição é um processo interno ao cérebro com poucos indícios registráveis de sua atividade interna. Deve ser aplicado métodos científicos para acentuar e diferenciar estes estágios e deve ser feita uma cuidadosa investigação de todos os vestígios externos que possam retratar este funcionamento.

O propósito final é direcionar o modelo de entendimento da cognição para aplicação na melhoria do desempenho cognitivo das pessoas. A educação será a principal aplicação deste modelo, indicando os melhores caminhos de ensinar.

4. O desafio e o problema de modelar a cognição

A cognição é um campo vasto e complexo que pode abranger diversas visões e abordagens para se estudar e compreender. A proposta aqui procura delimitar o campo de estudo para que se possa desenvolver um modelo de engenharia com aplicações na área de educação. O problema aqui delimitado consiste no desenvolvimento de modelos computacionais de engenharia. Em um modelo de engenharia se encara a cognição como uma máquina e todo funcionamento cognitivo como uma execução de um processo nesta máquina. A modelagem é extremamente simplificada para minimamente suprir o entendimento e comportamento desejado.

O desenvolvimento mental pode ser considerado em vários escopos temporais. O modelo deve estabelecer o escopo de desenvolvimento mental almejado. Dentro do escopo temporal temos a granularidade do tempo como definição do passo considerado na avaliação do progresso cognitivo. O modelo mental pode então abarcar o desenvolvimento cognitivo ao longo de diversas gerações de indivíduos ou simplesmente considerar o avanço obtido em poucos segundos de esforço mental.

A aplicação do modelo mental tem um campo tão vasto quanto toda a extensão da atividade humana. Toda e qualquer atividade humana pode se beneficiar de um modelo que consiga rastrear o desenrolar das atividades cognitivas. Um modelo assim genérico exigiria uma vasta pesquisa e provavelmente se tornaria muito complexo de se lidar. O modelo cognitivo deve focar em uma área de aplicação para atingir uma configuração que é simultaneamente exequível e utilitária.

4.1. Estudando a cognição

Diversos teóricos já propuseram modelos cognitivos, existindo diversas fontes onde o estudo pode ser fundamentado. Os vários modelos teóricos existentes devem ser

estudados, organizados e aplicados segundo às necessidades da pesquisa. Dentro do escopo temporal, as dimensões do espaço cognitivo devem ser equacionadas. Os modelos devem contemplar as dimensões do problema: a filogenética, a psicogenética e a microgenética.

O modelo dimensional é um requisito preliminar para transcrever os fundamentos teóricos na arquitetura da solução modelada. O cérebro é uma convergência de diversas aquisições nos diversos domínios temporais. O cérebro do homo sapiens contém toda a história evolutiva da espécie. O indivíduo é a soma de tudo que aprendeu ao longo de sua vida, assim como de tudo que está pensando em um determinado instante. Todas estas dimensões delimitam o espaço de atuação dos processos cognitivos.

O pensamento do homem moderno, segundo Luria (1966a, 1966b) é dominado pela linguagem. Seminário também considera o processo cognitivo como uma cascata de linguagens. Em termos de computação, linguagens são processadas por sistemas de compiladores. Os modelos computacionais que mapeiam máquinas cognitivas podem então ser concebidos em forma de autômatos que interpretam uma cadeia de símbolos codificados representando o processamento cognitivo.

O espaço dimensional populado pelos casos de uso internos da máquina cognitiva constitui o cognoma humano. A expressão cognoma é análoga à expressão do genoma ou em melhor grau ao proteoma humano. A máquina cognitiva vai avançando por sequências de estados, formando expressões complexas associadas aos estágios do processamento mental. O cognoma é em suma a coleção de expressões cognitivas usadas na aquisição de todo e qualquer conhecimento ou habilidade.

4.2. Acesso à cognição

Toda a riqueza da máquina mental humana ainda está em aberto para ser investigada. Para abrir a caixa preta da mente é preciso contar com teorias que gerem hipóteses sobre o seu funcionamento interno. Os modelos cognitivos resultantes devem exercitar a mente para que produzam eventos marcadores dos estados internos. Os eventos que devemos observar nas dimensões cognitivas servirão para localizar o indivíduo no espaço dimensional (Marques, 2017).

Devido à dificuldade de acesso aos seus estados internos os estudos sobre a mente tendem a ter uma natureza behaviorista centrado em resposta a dados estímulos. No entanto, a falta de acesso aos estágios internos da cognição pode ser compensada por inferências sobre o comportamento observado. A diversidade de variações sobre as respostas esperadas é resultante do processamento interno necessário para produzi-las. Diversas abordagens disponíveis na ciência de dados devem ser aplicadas para discriminar estas evidências do funcionamento interno.

Em primeira instância deve ser modelada a máquina que representa o funcionamento básico do processo cognitivo. A máquina básica da cognição pode ser modelada por um autômato que codifica as aquisições sensoriais para uso interno da cognição. O tratamento de dados oriundos dos processos cognitivos é uma fonte de entendimento do funcionamento mental quando bem fundamentado por uma teoria que descreva com propriedade o engenho interno cognitivo.

Uma vez que se tenha um modelo do autômato básico da cognição, a pesquisa pode prosseguir na investigação do uso que é feito deste autômato em diversas situações da aquisição do conhecimento. O rastreamento do funcionamento mental deve estudar os diversos estágios pelos quais o processamento cognitivo avança. Correlacionando os estágios com as situações de aprendizado propostas pode-se mapear o cognoma humano.

5. Espaço de soluções do modelo cognitivo

5.1. Espaço dimensional temporal

O espaço temporal considera os modelos conforme a granularidade do tempo de amostragem do desenvolvimento cognitivo. Este espaço delimita as estratégias de pesquisa principalmente voltadas para o indivíduo. Este espaço deve priorizar a diversidade de inteligências e ressaltar as diferenças individuais como patrimônio essencial da humanidade.

A dimensão filogenética estuda o desenvolvimento da cognição ao longo da formação da espécie. Embora esta dimensão é mais apropriada para o campo da Antropologia, dentro da Educação ela é importante para definir o status quo do cérebro atual. Neste sentido a modelagem cognitiva deve estudar as funções cerebrais inatas. Segundo Chomsky (2014) o inatismo determina a nossa capacidade de aprender e dominar a linguagem humana. Também podem ser consideradas nesta dimensão as funções executivas. Estas funções são nativas no cérebro, mas ainda podem variar em desempenho devido ao histórico de uso individual.

Ao longo da maturação cerebral do indivíduo temos a dimensão ontogenética ou psicogenética. As competências vão sendo habilitadas segundo o estágio de desenvolvimento biológico do cérebro. Nesta dimensão nós temos as etapas previstas por Piaget (1977). Em média, os primeiros estágios são habilitados com sucesso na população humana. A modelagem cognitiva deve-se concentrar no estágio formal e pós formal, que ainda são pouco difundidos e são fundamentais para se ter um indivíduo cognitivamente competente.

A microgênese é a dimensão onde se dá o processo interno de aprendizagem. O processo cognitivo se dá em um curto espaço de tempo e mesmo sem o indivíduo se dar conta do acontecido. Segundo Dehaene (2014), a maior parte deste processo cognitivo se dá inconscientemente por um conjunto maciço de processamento paralelo simultâneo. A modelagem desta máquina é a mais desafiadora, pois pouco se obtêm em dados que possam ser oferecidos pelo indivíduo pesquisado. Os dados sobre o funcionamento interno precisam ser extraídos por experimentos criteriosos e profundamente analisados.

5.2. Espaço dimensional populacional

O espaço populacional retrata a variação da cognição entre indivíduos de uma população. Este estudo deve delimitar as variações favoráveis e desfavoráveis. As favoráveis oferecem um diferencial ao indivíduo que o qualifica para uma posição social relevante. As desfavoráveis podem significar falhas no aparato cognitivo individual e devem ser analisadas e corrigidas. Os modelos cognitivos devem ser parametrizados

para que possam preservar a diversidade da população, garantindo que todas as habilidades necessárias sejam cultivadas na educação.

A diversidade de inteligências é o principal legado que deve se preservar na espécie humana. A educação deve ser repensada para que as diferenças individuais sejam levadas em consideração. Os modelos cognitivos devem ser desenvolvidos com esta variabilidade em mente. Eles serão os facilitadores da personalização do processo educativo, evitando que o processo em massa deturpe o propósito de levar todos a um pleno desenvolvimento.

Dentro da diversidade do cognoma em uma população é possível que grupos característicos emergjam. A identificação destes grupos faz parte do estudo populacional. Estes grupos podem ser usados para melhorar o entendimento do cognoma, observando as diferenças entre eles. Tanto as diferenças como as semelhanças são pontos importantes na modelagem cognitiva. As diferenças marcam os limites da distribuição cognitiva em uma população. As semelhanças são marcadoras de especializações do cognoma que devem ser consideradas tanto na modelagem quanto no processo de ensino, que deve levar em conta estas peculiaridades.

6. Avaliação e impacto de modelos cognitivos

A avaliação dos modelos cognitivos se dá em três aspectos, o científico, o demográfico e o educacional. A avaliação científica do modelo se dará através da validação do seu isomorfismo com o comportamento humano descrito nos estudos atuais. A avaliação demográfica se dá no estudo da distribuição da cognição nas populações. Os resultados obtidos pelos modelos devem ser comparados com estatísticas disponíveis correspondentes. A avaliação mais relevante é aquela que implica o maior impacto social, no caso o aspecto educacional. Os modelos cognitivos são por construção auto avaliativos. Quando aplicados à educação devem avaliar a cognição dos indivíduos e propor novos caminhos para o ensino. O sucesso do indivíduo em seu desenvolvimento cognitivo será o marcador principal da aplicabilidade do modelo.

O impacto da modelagem cognitiva se dá em toda e qualquer atividade humana que exige a cognição. Um modelo cognitivo de sucesso pode estimar com grande acurácia o grau de aquisição de habilidades e conhecimentos.

7. Obstáculos e dificuldades na aplicação de modelos cognitivos

A principal dificuldade deste desafio é superar a baixa observabilidade dos processos cognitivos. Esta pesquisa irá requerer a formação de times interdisciplinares pouco disponíveis atualmente. Estes times deverão desenvolver soluções criativas para decifrar todo sinal disponível que possa dar detalhes sobre o funcionamento interno da mente.

Próteses computacionais ainda são olhados com alguma desconfiança. Modelos cognitivos são próteses de alto impacto e alta pervasividade e são, por estes motivos, passíveis de problemas de aceitação na sociedade humana. Neste aspecto, próteses cognitivas tem que ser validadas e testadas com grande cuidado e detalhe. Elas estarão em contato direto com seres humanos e devem, portanto, ser responsavelmente construídas e aplicadas.

8. Plano de estudo e aplicação do cognoma humano

O plano de pesquisa com as Metas, Ações e Monitoramento é apresentado no Quadro 1.

Quadro 1: Metas, Ações e Monitoramento e Avaliação

Desafio ou Problema	Metas	Ações	Monitoramento e Avaliação
Estudo e validação de modelos cognitivos	Produção de modelos cognitivos	Pesquisa e desenvolvimento de modelos da mente humana.	Produção científica de material escrito sobre os modelos
	Representações Mentais	Pesquisa usando os modelos para capturar representações	Cruzamento de representações reconhecidas entre times
	Idioma mental	Aplicações de modelos para decifrar trechos de idiomas internos à cognição	Mapeamento de trechos idiomáticos contra testes cognitivos
	Captura conceitual	Pesquisa da concatenação de idiomas para observar a formação de ideias conceituais	Mapeamento contra testes pós formais
Consolidação dos modelos cognitivos no âmbito individual.	Dicionário de verbetes cognitivos, o cognoma representacional	Desenvolvimento e publicação de instrumentos para estimular o surgimento de representações mentais	Estudo da variação estatística dos dicionários obtidos por times diversos
	Dicionário de idiomas cognitivos, o cognoma idiomático	Desenvolvimento e publicação de instrumentos para estimular o encadeamento de representações mentais	Estudo da variação estatística dos dicionários obtidos por times diversos
	Atlas de conceitos e redes epistemológicas, o cognoma abstrato	Estudo dos dicionários produzidos pela comunidade científica e observação das correlações	Publicação de cognomas referentes a conceitos abstratos observados
Consolidação dos modelos cognitivos no âmbito populacional	Contagem do uso do cognoma nas diversas populações cognitivas	Especialização de times em cada classe cognitivas para levantamento dos cognomas específicos	Contribuição de diversos times no mapeamento do cognoma populacional
		Conferências ou trilhas específicas para o tema.	Artigos sobre a distribuição cognitiva
	Levantamento das causas do desvio cognitivo nas populações	Caracterização cognitiva das populações à luz dos prognósticos dos teóricos	Artigos sobre a distribuição dos ganhos e perdas cognitivas
	Prescrição de ações remediadoras	Estudo do efeito de práticas neuropedagógicas na cognição	Avaliações das mudanças cognitivas na população

Três grandes desafios são apresentados, seguido de suas metas, ações e do monitoramento e avaliação: (1) estudo e validação de modelos cognitivos; (2) consolidação dos modelos cognitivos no âmbito individual e (3) consolidação dos modelos cognitivos no âmbito populacional.

A validação do modelo requer que sejam modelados autômatos que simulem o processo cognitivo a contento. O modelo cognitivo validado pode ser usado no levantamento do cognoma humano. O cognoma deve ser a base para a modelação de próteses cognitivas a serem disseminadas nos diversos campos da atividade humana. O plano segue o modelo cognitivo de Seminério (1984, 1988), onde a linguagem L1 é o próprio autômato e os níveis representacional, idiomático e conceitual são respectivamente L2, L3 e L4. Cada uma destas linguagens-código vai exigir um esforço particular na concepção de experimentos que possam desvendar o seu significado.

O cognoma deve ser explorado em sua dimensão populacional. Os experimentos vão requerer a aplicação em vários indivíduos para que se possa capturar dados relevantes. O estudo das diferenças e semelhanças no cognoma em todos os níveis de linguagem código permitirá o fechamento dos modelos. Por fim os modelos deverão ser implementados como engenhos prostéticos que permitirão a captura, avaliação e intervenção na cognição humana. Modelos cognitivos e o conhecimento do cognoma serão uma importante ferramenta na educação e treinamento personalizado para se alcançar qualquer compreensão e competência desejada.

Referências

- Chomsky, N. (2014), *Aspects of the Theory of Syntax*. Vol. 11. MIT press, 2014.
- Dehaene, S. (2014), *Consciousness and the Brain: Deciphering How the Brain Codes Our Thoughts*, Penguin Book, 2014
- Luria, A. R.; Tsvetkova, L. S. (1967) *Les troubles de la resolution des problems*. Paris: Gauthier-Villars.
- Luria, A. R. (1966a) *Higher Cortical Functions in Man*. New York; Basic Books.
- Luria, A. R. (1966b) *Human Brain and Psychological Processes*. New York, Harper.
- Marques, C.V.M. (2017) *EICA – Estruturas Internas Cognitivas Aprendentes: Um Modelo Neuro-Computacional Aplicado à Instância Psíquica do Sistemas Pessoa em Espaços Dimensionais*. Tese de Doutorado. COPPE/SISTEMAS, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Piaget, J. (1977) *Recherches sur l'abstraction réfléchissante*. Paris, Presses Universitaires de France.
- Seminério, F. L. P. (1984) *Infra-estrutura da cognição: fatores ou linguagens?* Rio de Janeiro: FGV; ISOP.
- _____ (1988) *Metaprocesso: a chave do desenvolvimento cognitivo: uma reavaliação da pedagogia contemporânea*. Rio de Janeiro: FGV; ISOP.

Em Busca de um Framework Conceitual para Apoiar a Diversidade

Alberto Castro¹, Thais Castro¹, Crediné Menezes², Bruno Gadelha¹,
Elaine Oliveira¹, José Netto¹,

¹Instituto de Computação – Universidade Federal do Amazonas (IComp/UFAM)
Av. Rodrigo Otávio, 6200 – 69.080-900 – Manaus – AM – Brazil

²Departamento de Estudos Básicos – Faculdade de Educação – Universidade Federal do
Rio Grande do Sul (UFRGS)

Av. Paulo Gama 110, Prédio 12201 – 90.046-900 – Porto Alegre – RS – Brazil

{alberto, thais, bruno, elaine, jnetto}@icomp.ufam.edu.br,
credine@gmail.com

Abstract. *In this article, we analyse the scenario of Informatics in Education from the perspective of its great challenges, focusing on questions related to the diversity of scenarios, platforms, organizations, goals, strategies, individuals and groups, arguing for a conceptual framework to reason about this complex scenario. We put in context the investigation developed by the research community, particularly the Intelligent Systems Group (GSI) linked to the Institute of Computing at the Federal University of Amazonas, Brazil, showing how these initiatives are part of an ecosystem and grouped together to tackle the diversity challenge.*

Resumo. *Neste artigo analisamos o cenário da Informática na Educação na perspectiva de seus grandes desafios, com foco nas questões relacionadas à diversidade de cenários, plataformas, organizações, objetivos, estratégias, pessoas e grupos envolvidos, argumentando a necessidade de um framework conceitual para refletir sobre os complexos elementos dessa questão. Situamos em tal contexto, a investigação em andamento pela comunidade de pesquisadores na área, em particular o grupo Sistemas Inteligentes (GSI) associado ao Instituto de Computação da UFAM, buscando mostrar como tais iniciativas podem ser percebidas como elementos de um ecossistema e congregadas para mitigar o desafio da diversidade.*

1. Introdução

Vários aspectos relacionados à Informática na Educação (IE) têm motivado a pesquisa na computação e em diversas subáreas das ciências e engenharias. Um desses aspectos diz respeito à concepção, desenvolvimento e implantação de estratégias e recursos, especialmente os de natureza tecnológica, para entender e ampliar o acesso das pessoas ao conhecimento, tema alinhado a um dos Grandes Desafios científicos da computação apontados pela SBC para a década (2006-2016), aquele que trata do “acesso participativo e universal do cidadão brasileiro ao conhecimento”.

Ao longo de três décadas de investigação, uma miríade de cenários, plataformas, organizações, objetivos, estratégias, artefatos, pessoas e grupos, caracterizaram um ecossistema com características notáveis no que diz respeito à sua abrangência, complexidade e diversidade. Como consequência, as investigações em nossa comunidade frequentemente têm tratado apenas um ou outro aspecto desse ecossistema, por exemplo acerca dos serviços disponíveis nos ambientes virtuais de aprendizagem, no monitoramento das pessoas (usuários) em tais sistemas, ou ainda no uso de uma determinada tecnologia emergente, desprezando as relações entre eles e as consequentes implicações possivelmente limitantes, impostas a partir de tais soluções.

Neste artigo argumentamos pela necessidade de um framework conceitual para refletir sobre esse ecossistema, em particular no que diz respeito às implicações de nossas contribuições para as diferentes manifestações cognitivas que nele ocorrem. No sentido de elencar alguns princípios definidores de tal framework, situamos em tal contexto, a investigação em andamento pela comunidade de pesquisadores na área, em particular pelo grupo associado ao Instituto de Computação da UFAM, buscando mostrar como tais iniciativas podem ser congregadas para mitigar o desafio crescente oriundo dessa diversidade.

2. Contexto

Com a implementação de diversas políticas públicas buscando inserir aqueles que estão por algum motivo sem acesso à educação formal, há uma preocupação em como essa população pode ser adequadamente inserida no contexto educacional. Iniciativas como a política de cotas, regulam a participação de indivíduos em certos sistemas, mas não garantem a efetiva integração aos processos cognitivos que neles ocorrem.

Não há como desconsiderar fatores imprescindíveis que influenciam o desenvolvimento cognitivo das pessoas, como o local onde residem, suas influências culturais, as pessoas com as quais interagem em seus ambientes familiares e educativo e suas habilidades cognitivas e sociais. Nos contextos onde as pessoas convivem, desenvolvem sua cognição e constroem relações elas aprendem, de maneira formal ou informal, frequentando escolas e interagindo nas praças de suas cidades, em shoppings (nos grandes centros urbanos), na sua rua com seus vizinhos e na sua família. Em vários desses espaços de interação, elas possuem alguma forma de conectividade, mesmo que por vezes restritas a horários e locais específicos, como ocorre no interior da Amazônia.

Esse cenário de tecnologias ubíquas amplia oportunidades, embora a sociedade como um todo ainda não conseguiu incorporar, de forma sistêmica, esse fenômeno comunicacional. Cada indivíduo ou grupo começa a usar suas ferramentas tecnológicas, apropria-se das mesmas e segue em frente. Isso é positivo, pois se cria o hábito de conviver com as novidades, explorando e desenvolvendo novos usos. Entretanto, para que possamos aproveitar as oportunidades apresentadas, em particular no que diz respeito à educação e acesso ao conhecimento, é necessário o desenvolvimento de estudos que possibilitem um uso mais adequado dessas tecnologias.

3. Ambientes de Aprendizagem enquanto Ecossistemas Cognitivos

O uso do computador para apoiar a aprendizagem é um desafio que a comunidade acadêmica assumiu desde os primeiros passos desta tecnologia, cuja natureza plástica,

que tem a capacidade de se transformar em inúmeras máquinas específicas a partir da programação em linguagens cada vez mais acessíveis, possibilita hoje o surgimento de inúmeras aplicações para diferentes usos em todas as áreas da atividade humana e notadamente no contexto educacional.

Por muito tempo, e por diferentes motivos, o mundo do trabalho, do entretenimento e da escola estiveram separados. Hoje, em função do advento das tecnologias digitais, a informação e seus usos assumiram um papel primordial dando origem ao que se tem denominado de sociedade do conhecimento. Nesta nova sociedade, o bem primordial é o conhecimento, que desde sempre, pode ser construído por cada indivíduo em diferentes contextos. Antes, as máquinas que povoavam o trabalho, o entretenimento e a escola, tinham naturezas diferentes. Na cultura digital, as máquinas compartilham um elemento primordial, os processadores programáveis e os elementos que elas produzem e consomem é a informação, que pode ser representada de forma digital.

A natureza programável dos computadores, aliada ao surgimento de linguagens de programação mais amistosas, a alta capilaridade da Internet e o surgimento de equipamentos móveis de baixo custo atraiu a curiosidade e a criatividade de jovens programadores que fazem surgir a cada dia uma grande quantidade de novos aplicativos para os usos mais diversos possíveis, em todos os âmbitos da atividade humana. Tal advento, notadamente no contexto educacional é muito bem-vindo embora, dada sua multiplicidade, apresente-nos novos desafios, como o de escolher a opção mais adequada a nossas necessidades, ou como compatibilizar as informações produzidas e consumidas por esses diferentes aplicativos.

Este aporte de diferentes ferramentas para apoiar as atividades intelectuais da sociedade do conhecimento, provoca uma transformação que assume porte de uma revolução com profundas modificações na nossa forma de agir e pensar – constatação que tem requerido um olhar mais atento da comunidade de Informática Aplicada à Educação em busca de uma fundamentação teórica que dê suporte à análise e síntese de novas iniciativas, tendo como grande desafio contemplar a diversidade em todas as suas facetas.

Não há como pensar em diversidade sem considerar o indivíduo dentro de seu próprio contexto e de seu grupo. Lévy (2010) postula a necessidade do estabelecimento de uma Ecologia Cognitiva, tendo por base uma integração, por intermédio das tecnologias digitais, entre pessoas, instituições e coisas em uma rede complexa. Tal proposta está ancorada em perspectivas como a de Bateson (1972) sobre sistemas dinâmicos e abertos, bem como as estruturas rizomáticas de Guattari (2001) e a equivalência entre humanos e não-humanos nos processos sócio-técnicos proposto por Latour (2000).

Nos dias atuais, quando se fala de aplicações educacionais, a separação entre computadores, dispositivos móveis e Internet já não importa, sendo, portanto, bastante usual a referência indissociada desses elementos. Assim, podemos postular que nosso ecossistema cognitivo, já em grande parte tem como *locus* a Internet. Em um recente trabalho (Smart et al, 2017) postula que partindo-se de uma perspectiva ecológica a Internet faz parte da cognição humana, pois funciona como um ambiente físico onde as atividades epistêmicas acontecem.

É de nosso interesse adotar a abordagem ecológica como base para o estabelecimento de um *framework* capaz de dar suporte tanto à análise de ambientes e aplicações isoladas existentes quanto à concepção de novos ambientes para comunidades de aprendizagem e de aplicações isoladas, com respeito às suas possibilidades de atender os objetivos de uma determinada comunidade em rede.

4. O desafio da diversidade

Durante certo tempo o acesso aos computadores era restrito a pessoas, espaços (físicos) e situações bem específicas. Tal cenário evoluiu até o estado corrente onde a tecnologia computacional é ubíqua e parte integrante das atividades diárias da maioria de nós. Essas diferentes instâncias da tecnologia em nossas vidas apresentam uma primeira perspectiva sobre a diversidade, ainda que de natureza quase exclusivamente técnica.

A quantidade de situações, espaços e pessoas com potencial para acessar os recursos tecnológicos disponíveis ampliou-se de modo exponencial. Inúmeras combinações desses fatores (situações, espaços, pessoas, acesso) ilustram uma outra perspectiva sobre a diversidade, que necessariamente precisa agregar aspectos sociais, políticos, culturais, ambientais, dentre outros, aos técnicos.

A diversidade é um desafio para a pesquisa e a prática em Informática na Educação também porque ao mesmo tempo em que as tecnologias ubíquas e até “vestíveis” estão disponíveis para muitos, elas ainda não estão inseridas no cotidiano das escolas como uma prática para inclusão e participação do cidadão em seus próprios processos de aprendizagem.

4.1. A experiência do GSI/UFAM

As características de um desafio são, não raramente, percebidas mais claramente por aqueles que precisam lidar com suas implicações em ações diárias. As várias realidades vivenciadas pelos habitantes da Amazônia e a necessidade de contemplar suas peculiaridades ao mesmo tempo que se busca integrá-las a formatos rígidos inspirados em “situações-padrão”, é um exemplo da percepção adquirida sobre nosso desafio.

Nesse contexto, há mais de 15 anos o GSI/UFAM tem desenvolvido pesquisa buscando contemplar a diversidade e não por acaso o tema do XV SBIE, realizado em Manaus, foi “Diversidade e Integração: Desafios para a Telemática na Educação”. Algumas das dimensões como as mencionadas no início dessa seção (atores, espaços, situações e acesso) podem situar a pesquisa desenvolvida nos últimos anos pelo GSI, ilustrando parte do esforço da comunidade de IE no tema.

Atores

Atores humanos (indivíduos e grupos) e não-humanos (agentes, serviços, plataformas, etc.) são elementos centrais no ecossistema educacional e onde se tem investido em práticas participativas envolvendo os seres humanos na busca por soluções educacionais com suporte computacional e atores não-humanos como parte da solução, todos interagindo de diferentes maneiras. São exemplos dessa abordagem a utilização de agentes inteligentes (Xavier et al, 2016); com ferramentas e técnicas para melhorar a habilidade de programação na educação superior (Carvalho et al, 2016) e a elicitación e organização de conhecimento tácito científico (Albuquerque et al, 2016).

Espaços

Espaços físicos são os lugares ou ambientes onde as interações convencionalmente aconteciam e ainda acontecem em boa parte do tempo: escolas, casas, cidades, praças, clubes, shoppings, etc. Sendo importante incorporar outros cenários, por exemplo para inserir os alunos cursando a educação formal em localidades com restrições de acesso à Internet, como descrito em (Ferreira e Castro, 2013).

Espaços virtuais são criados utilizando plataformas tecnológicas diversas. Com as oportunidades para a adoção de novas práticas pedagógicas, é cada vez mais frequente a adaptação de plataformas ou a concepção de novos paradigmas para a definição de ambientes mais flexíveis e aderentes às necessidades de indivíduos e grupos, como o paradigma MOrFEU (Santos et al, 2010).

‘SituAções’

No contexto relevante para a IE, a tecnologia é um elemento constituinte das arquiteturas pedagógicas (AP) (Carvalho et al, 2005) concebidas para favorecer situações de aprendizagem e no caso do GSI, tem havido especial interesse em APs que utilizam práticas colaborativas bem como APs cuja plataforma tecnológica envolve o uso de interfaces alternativas (Lima et al, 2016).

Acesso

O acesso dos atores aos ecossistemas nos quais os mesmos poderiam atuar depende de um conjunto de fatores que incluem por exemplo a infraestrutura disponível no espaço físico ocupado, os aspectos sociais que orientam ou limitam as oportunidades de participação nos sistemas, ou ainda as limitações e especificidades físicas e cognitivas de cada indivíduo. No último caso mencionado, o GSI tem trabalhado na perspectiva do HCD (*human-centered design*), sistematizando um processo de design inclusivo (Lucke et al, 2016) e de interações multimodais (Raposo et al, 2014).

Ainda no tema “acesso”, uma dimensão importante relacionada à compreensão de ecossistemas complexos é o acesso a dados provenientes dos espaços físicos e virtuais e das interações e outras situações neles ocorridas envolvendo seus atores. Através da coleta, organização, análise e reuso desses dados, o conhecimento resultante pode ser socializado e reintegrado no próprio ecossistema, como ocorre na frente de trabalho de mineração de ambientes virtuais (Almeida Neto et al, 2015).

4.2. Colocando em perspectiva

As dimensões apresentadas na subseção anterior possibilitam descrever parte da pesquisa desenvolvida pelo GSI/UFAM e de modo geral, pela comunidade de IE, com relação a um desafio. A análise de tal pesquisa é realizada segundo perspectivas específicas, que nos auxiliam a perceber ações fragmentadas como partes de uma rede que constitui ela mesma um “micro-ecossistema”.

Em nosso caso, a definição desse “micro-ecossistema” estabeleceu conexões esquecidas ou não percebidas anteriormente, situando no desafio tratado a convergência das pesquisas de um grupo de pesquisa imerso num contexto diferenciado, embora integrado à comunidade de IE.

4.3 Proposta para Enfrentar o Desafio

A partir do que foi discutido aqui, o Quadro 1 apresenta um resumo com proposta de objetivos e metas/ações para tratar com aspectos centrais do desafio da diversidade.

Quadro 1 - Enfrentando o Desafio da Diversidade

Estratégias		
<ul style="list-style-type: none"> • Desenvolvimento de um framework conceitual para a Informática na Educação, baseado na perspectiva da Ecologia Cognitiva • Inserção da questão da ampla diversidade e da Ecologia Cognitiva nos fóruns da Informática na Educação • Formação de comunidade multi-institucional para a investigação no tema 		
Dimensões	Objetivos	Metas/Ações
Atores	Apoiar os atores humanos no desenvolvimento de soluções	Desenvolver e utilizar métodos participativos, orientados pela metodologia de HCD para desenvolver artefatos Ampliar o uso de técnicas de aprendizagem colaborativa apoiada por tecnologias
	Dar suporte inteligente para os atores humanos	Ampliar o elenco de serviços e ferramentas de apoio a atividades cognitivas de atores humanos
	Integrar ações dos atores humanos e não-humanos	Propor suporte tecnológico adaptativo sob a perspectiva da ecologia cognitiva
Espaços	Conceber plataformas tecnológicas mais flexíveis	Utilizar paradigmas não convencionais para definir novas plataformas tecnológicas Desenvolver plataformas multimodais, realizando fusão multimodal para entrada de dados
	Integrar espaços de aprendizagem fora da sala de aula	Constituir uma rede de colaboração com escolas da rede pública e privada, bem como da educação especial Integrar aos projetos, contextos das redes locais de colaboração
SituAções	Organizar Arquiteturas Pedagógicas e outros micro-ecossistemas	Analisar as APs relatadas quanto a possibilidade de contextualização Construir e socializar um repositório com práticas que considerem a ecologia cognitiva dos alunos
	Divulgar novas práticas e artefatos não convencionais	Construir e socializar um repositório de artefatos não-convencionais para apoiar a aprendizagem
Acesso	Definir um processo de design e avaliação inclusivos	Catalogar diferentes práticas de design e avaliação com pessoas com deficiência Classificar as habilidades funcionais dos alunos
	Organizar e compartilhar dados reais das ações utilizando AVAs	Utilizar recursos de EDM e LA para identificar oportunidades de apoio semi-automático durante ações desenvolvidas em AVAs

5. Considerações Finais

A crescente disponibilidade de equipamentos associada a uma enorme diversidade de contextos possibilita que uma grande quantidade de novos usuários chegue à rede interessados na produção de novos ambientes e aplicações. Este fenômeno é ao mesmo tempo motivo de grande entusiasmo e de grandes preocupações. O entusiasmo se dá tendo em vista que, do ponto de vista educacional, cada vez mais os jovens estão sendo protagonistas da construção de uma nova ecologia cognitiva, participando de uma atividade intelectual com grande potencial para o desenvolvimento de novas competências cognitivas. Por outro lado, essa proliferação de tecnologias sem o apoio de fundamentos e elementos estruturantes pode implicar na produção de forma fragmentada, dificultando assim as pesquisas e o desenvolvimento na área de Informática na Educação.

O argumento por um framework conceitual baseado na ecologia cognitiva de cenários como o descrito acima ajudou a contextualizar a pesquisa em IE com respeito a um de seus muitos desafios segundo a perspectiva de um grupo de pesquisa típico. Os próximos passos na busca desse framework devem contemplar: maior flexibilidade nas plataformas disponíveis para indivíduos e comunidades; colaboração; suporte inteligente para a coleta, organização e uso contextualizado de dados, registro e reuso de experiências e acesso baseado em facilitadores individuais.

Agradecimentos

Parte da investigação aqui citada contou com recursos do Projeto “Framework Inteligente para Apoiar a Colaboração”, Edital FAPEAM 016/2013, Res. 035/2013.

Referências

- Albuquerque, A.C.F.; Santos, J.L.C.; Castro, A. A Conceptual Framework for Integrating Scientific Tacit Knowledge. In: 2016 SAI Intelligent Systems Conference (IntelliSys), 2016, London, UK. Proceedings of 2016 SAI Intelligent Systems Conference (IntelliSys). Piscataway, NJ: IEEE Computer Society, 2016.
- Almeida Neto, F.; Castro, A. Elicited and Mined Rules for Dropout Prevention in Online Courses. In: 2015 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE). Camino Real El Paso, TX, USA, 2015.
- Bateson, Gregory. Steps to an Ecology of Mind – Collected Essays in Anthropology, Psychiatry, Evolution and Epistemology. Jason Aronson Inc. 1972.
- Carvalho, M.J.S.; Nevado, R.A.; Menezes, C.S. Arquiteturas Pedagógicas para Educação a Distância: Concepções e Suporte Telemático. In: XVI Simpósio Brasileiro de Informática na Educação. Juiz de Fora, 2005.
- Carvalho, L.S.G.; Gadelha, B.F.; Nakamura, F.G.; Oliveira, D.B.F.; Oliveira, E.H.T. Ensino de programação para futuros não-programadores: contextualizando os exercícios com as demais disciplinas de mesmo período letivo. In: 24º Workshop sobre Educação em Computação, Porto Alegre. Anais do XXXVI CSBC, 2016.
- Castro, T.; Castro, A.N.; Castro, L.; Soares, M.; Gadelha, B. A Two-Level Problem Solving Practicing Approach using a Location Based App. In: XXVII Simpósio Brasileiro de Informática na Educação. Uberlândia. Anais do V CBIE, 2016.
- Ferreira, R.S.; Castro, A.N. Um Esquema de Sincronismo para Ambientes Virtuais de Ensino e Aprendizagem. In: XXIV Simpósio Brasileiro de Informática na Educação. Campinas. Anais do II CBIE, 2013.
- Guattari, Félix. As Três Ecologias. 11ª. Ed. Trad. Maria Cristina F. Bittencourt. Papirus. Campinas, SP. 2001.
- Latour, B. Ciência em ação: Como seguir cientistas e engenheiros sociedade afora. São Paulo: UNESP, 2000.
- Lévy, Pierre. As Tecnologias da Inteligência – O Futuro do Pensamento na Era da Informática, 2ª. Ed. Trad. Caros Irineu da Costa. Editora 34. 2010.

- Lima, D.; Pereira, R.C.; Siqueira, M.P.; Castro, T.; Souza, L.J.; Freitas, J.A. MusicApp um aplicativo para apoio às crianças autistas nas aulas de musicalização. In: V Congresso Brasileiro de Informática na Educação. Uberlândia. Anais V CBIE. 2016.
- Lucke, U.; Castro, T. The Process of Inclusive Design. In: IEEE 16th International Conference on Advanced Learning Technologies. Austin, MA, USA: IEEE Computer Society Conference Publishing Services (CPS), 2016. p. 446-447.
- Raposo, N.; Rios, H.; Lima, D.; Gadelha, B.; Castro, T. An application of mobility aids for the visually impaired. In: Proceedings of the 13th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia - MUM '14, 2014. p. 180-189.
- Santos, L.N.; Castro, A.; Menezes, C.S. MOrFEu: Criando Ambientes Virtuais Flexíveis na Web para Mediar a Colaboração. In: V Congresso Iberoamericano de Informática Educativa. Santiago, 2010. v. 1. p. 114-121.
- Smart, P. R., Heersmink, R., & Clowes, R. The Cognitive Ecology of the Internet. In: S. J. Cowley & F. Vallée-Tourangeau (Eds.), *Cognition Beyond the Brain* (2nd ed.). Springer-Verlag. London, England, UK, 2017.
- Xavier, N.B.; Netto, J.F.M. Optimizing the Management of Distance Courses through Multi-Agent System. In: IEEE Frontiers in Education. Erie (USA), 2016.

Desafios da Sustentabilidade Educacional e as contribuições da Tecnologia Cloud Computing

Stela C. Bertholo Piconez¹, Adalberto Bosco Pereira², Josete M. Zimmer³,
Oscar Luiz Piconez Filho³

¹ Faculdade de Educação - USP

² Instituto de Matemática – USP

³ Grupo Alpha de Pesquisa – FEUSP/CNPq

stela.piconez@gmail.com; adalbertobosco@gmail.com;
josete.zimmer@gmail.com; oscake@gmail.com

Abstract. *This article aims future trends in Education with technologies with the purpose of expanding the idea of Educational Sustainability supported by the technological innovation of Cloud Computing. Likewise, it aims to relate the two elements present, their challenges and their mutual contributions to address the strategic possibilities of interaction based on complex, creative, transdisciplinary and transcultural epistemology. It aims to understand the formal, informal and corporate spaces and their relevant social functions as well contributions to the empowerment of global citizenship. Education with technologies, at all levels of education, can foster interactivity and interaction regarding the possibilities of educational intentionality. It defends a new communication posture, based on the authorship of the user, on the logic of interactivity and constantly (re) signified.*

Resumo. *Este artigo discute futuras tendências de Educação com tecnologias que favoreçam o debate sobre as questões de Sustentabilidade Educacional e o suporte da tecnologia Cloud Computing. Da mesma forma, visa relacionar os dois elementos presentes, seus desafios e contribuições mútuas para abordar as possibilidades estratégicas de interação fundamentada por epistemologia complexa, criativa, transdisciplinar e transcultural. Objetiva o entendimento sobre os espaços formais, informais e corporativos e suas funções sociais relevantes como contribuição ao fortalecimento de cidadania global. Educação com tecnologias, em todos níveis e/ou modalidades de ensino, pode favorecer a interatividade e a interação quanto às possibilidades de intencionalidade educativa. Defende uma nova postura comunicacional, alicerçada na autoria do usuário, na lógica da interatividade e constantemente (re) significadas.*

1. Introdução

Este artigo destaca os desafios e as contribuições da Cloud Computing vislumbrando e apontando temas desafiadores e interdisciplinares, com enfoque basilar na área de Informática na Educação, especificamente na Sustentabilidade Educacional. Tem por objetivo discutir os temas da Informática na Educação que possuam sobretudo aspectos desafiadores na área. Basicamente se orientam pelas questões que seguem:

1. *Que desafios a Educação tem e que a Computação pode ajudar a resolver?*
2. *Como conferir Sustentabilidade Educacional com apoio da computação?*

Para esclarecimento dos termos, Sustentabilidade Educacional é entendida como o desenvolvimento de uma visão integrada dos saberes que contemplem o desenvolvimento da aprendizagem docente e discente na direção da inclusão de questões éticas, epistemológicas e pedagógicas necessárias ao processo de construção e compartilhamento de conhecimentos. Pretende desafiar paradigmas, questionar e provocar uma evolução no panorama atual na área educacional além de identificar potenciais dificuldades atuais e vindouras inerentes ao desafio de apropriação das tecnologias tanto na educação escolar formal, quanto nos espaços informais e corporativos.

Cloud Computing (computação nas nuvens) como inovação em computação na última década, possui potencial na recolha, organização e exploração dos dados sobre diversas perspectivas. Exige um pouco de investimento, mas todos concordam que o seu desenvolvimento e implementação proporcionarão enormes vantagens competitivas às organizações como um todo (Tran, et al., 2013; Zanetti et al., 2016). Ela é compreendida como uma tendência após a internet, a partir de 1995, de deixar de ser exclusivamente acadêmica, comercial e/ou industrial para ser usada em escala mais global (Zuffo et. al., 2013; Ekanayake, and Fox,G., 2010; NIST 2013).

Especificamente em relação à educação escolar, a padronização de equipamentos de ensino multimídia pode permitir total acesso e viabilizar para estudantes e professores, em diferentes áreas de conhecimento, facilidade de acesso e interação com a tecnologia web em tempo real. A internet apoia textos compartilhados de comunicação entre colegas de sala e amigos nas redes sociais sob diferentes perspectivas de comunicação, informação e criação. Salas de aula multimídia, *personal computers*, equipamentos móveis favorecem outros métodos de aprendizagem para diferentes demandas de outros locais e encontram no “*cloud services*”, via web (rede de informações pela internet (rede de computadores), a mobilidade, cooperação, o arquivamento de dados, a elasticidade e a escalabilidade (Righi, R, 2013) e facilidade de acesso. Fortalecem, ainda, o desenvolvimento de competências escolares (conceituais, procedimentais e atitudinais), de modo que todos os estudantes possam receber a mesma informação independente de seus conhecimentos tácitos (anteriores) e/ou das áreas de conhecimento desenvolvidas na escola e aprendam com qualidade e igualdade (Piconez, 2004; 2013).

A internet apoia textos compartilhados de comunicação entre colegas de sala e amigos nas redes sociais sob diferentes perspectivas de comunicação, informação e criação. Salas de aula multimídia, *personal computers*, equipamentos móveis favorecem outras abordagens de ensino e aprendizagem (pedagogia, andragogia, heutagogia) para diferentes demandas. Encontra no “*cloud services*”, a mobilidade, cooperação, o arquivamento de dados, a escalabilidade e facilidade de acesso.

Um dos desafios é que a computação em nuvem já existe na escola, nos espaços informais e corporativos se pensarmos o acesso que as pessoas já têm por meio das redes sociais, dos provedores de busca, dispositivos móveis (BYOD) e da enorme quantidade de informação armazenada. A computação em nuvem utiliza as grandes quantidades de informação geradas, procura organizá-las e utilizá-las como meio de suporte consistente, viável e capaz de assumir como pressuposto basilar a tomada de decisão para resolução de problemas. No cenário atual da educação no Brasil existe precariedade na infraestrutura tecnológica escolar, na formação docente e na continuidade de uso de abordagem tradicional de ensino (perspectiva mnemônica). É relevante conhecer noções de programação e de raciocínio computacional. Todos na escola precisam ter uma cultura

digital (*digital literacy*), isto significa, saber acessar e encontrar informações, apps, competência cada vez mais exigida pelo mundo contemporâneo (Grassian e Kaplwpitz, 2001). E ainda, não podemos esquecer da familiaridade com a nuvem e a cibersegurança (*informational literacy*).

Tal como referido acima, o objetivo deste artigo destina-se à reflexão para profissionais que trabalham ou possam trabalhar agora e em um futuro próximo, encontrando na tecnologia cloud computing e em sua arquitetura, o suporte para as soluções, desafios e contribuições presentes na Sociedade do Conhecimento. Por outro lado, visa igualmente abordar temas relacionados a desafios já identificados pela comunidade acadêmica e escolar, tais como: Acesso Participativo e Universal do Cidadão ao mesmo conhecimento e de mesma qualidade pela abertura à todas as escolas de acesso ao cloud computing, autoria de sistemas educacionais, evolução de sistemas educacionais, gestão de grandes volumes de dados de desenvolvimento de tecnologias educacionais de alta qualidade, entre outros. As políticas e estratégias existentes no desenvolvimento da cultura digital e informacional devem estar amparadas em um conceito que harmonize e inclua toda e qualquer acesso pela internet, que abrange os mesmos conhecimentos e qualidade, habilidades e atitudes que permitam aos cidadãos compreender o papel social das mídias e de outros provedores nas sociedades democráticas que requerem liberdade de expressão, diálogo intercultural e possibilidades de criação de conhecimento colaborativo.

2. A Sustentabilidade Educacional e o Cloud Computing: desafios

O fenômeno educativo é complexo e multidimensional. A Sustentabilidade Educacional requer a provisão de espaços permanentes de estudo e conhecimento das tecnologias para que ocorra uma adaptação tanto de estudantes quanto dos docentes na direção da sensibilidade do contexto que vislumbra novos modos de ensinar e novos modos de aprender. Para ilustrar, se o projeto da escola quer utilizar os games digitais para desenvolver competências lógico-algébricas e mesmo de pensamento computacional com os estudantes, os docentes precisam jogar, aprender a articular as competências e habilidades desenvolvidas aos conteúdos específicos da matemática como projeto integrador (De Paula et al., 2014; Pereira, A. B. e Piconez, S.C.B, 2016; Barr, V. e Stephenson, C. 2011; Brennan, K. e Resnick, M. (2012; Mestre, P. et al. 2015).

Se a modalidade por smartphones é real, a mobilidade tecnológico-educacional tem como pressuposto acesso irrestrito como forma de independência dos dispositivos de acesso aos conteúdos. Pretende-se com o acesso à computação nas nuvens, que professores e alunos acessem e explorem os dados, de forma dinâmica e interativa.

A função social da escola é ser sustentável com a estrutura que aí está; mudanças levam dez anos para fazer efeito na Educação. Então, pela tecnologia de Cloud Computing os desafios para computação consistem em formar docentes e discentes em técnicas de computação existentes na programação de jogos, edição de vídeos com Moviemaker, Animoto, iMovie, uso da internet das coisas, uso da realidade aumentada, das narrativas digitais utilizando Instagram; redes de comunidades de prática para intercâmbio de línguas, contextos, cenários etc como grupos em Whatsapp, FaceBook-Messenger que podem ajudar a resolver o problema de propiciar a todos a mesma qualidade e acesso aos mesmos conteúdos existentes, objeto de estudo no currículo escolar.

Casell (2011) destaca que a Ciência da Computação (CC) é uma área do conhecimento de caráter universal. Favorece um leque de possibilidades para a realização de conexões interdisciplinares, tanto para a sua evolução enquanto ciência, quanto para a sua aplicação na resolução de problemas mais complexos. Esses problemas podem ser

explorados por meio da interdisciplinaridade, que é apenas uma postura metodológica e que as escolas não conseguem viabilizá-la por questões administrativas-burocráticas em sua organização e gestão.

No campo da Educação Escolar, há tentativas de articulações conceituais presentes nos componentes curriculares obrigatórios, como por exemplo, dos games digitais, tão apreciados pelos estudantes com imensa possibilidade e articulação com a linguagem abstracional matemática e de seus algoritmos.

De acordo com Blikstein (2010a, 2010b) a escola faz "adestramento digital" Pior, estamos ensinando nossos alunos que a tecnologia serve para recombinar informações já existentes, e não para criar conhecimento novo. E o conhecimento novo não está na internet, facilmente encontrável em um mecanismo de busca com meia dúzia de palavras-chave. Ele está por ser descoberto. Ainda segundo o autor, não se trata de saber navegar na internet, enviar e-mail, publicar um blog, ou operar um processador de texto. Raciocínio computacional é saber usar o computador como um instrumento de aumento do poder cognitivo e operacional humano – em outras palavras, usar computadores, e redes de computadores, para aumentar nossa produtividade, inventividade e criatividade.

3. Como vencer o Desafio?

Vivemos em simbiose com os artefatos tecnológicos, ou seja, os seres humanos estão conectados simultaneamente às tecnologias. Na escola não é diferente. Para Pierre Lévy é o uso das tecnologias que nos faz terrivelmente humanos. Os estudantes de hoje consideram as tecnologias como artefatos absolutamente normais e cotidianos. Se a escola proibir os estudantes de usar as tecnologias (para os professores algo separado do mundo), na cabeça dos estudantes, estamos proibindo-os de viver. Nossas escolas não sabem como ensinar com tecnologias. Só que projetar estudos com pesquisa na internet tem duas questões importantes de sustentabilidade educacional, a saber: a riqueza de informações não desenvolve de per si a capacidade analítica, a articulação da atenção, a motivação e a interpretação das ideias assim como produção de conhecimentos novos e compartilhados.

A habilidade de transformar teorias e hipóteses em modelos e programas de computador, executá-los, depurá-los, e utilizá-los para redesenhar processos produtivos, realizar pesquisas científicas ou mesmo otimizar rotinas pessoais, é uma das mais importantes habilidades para os cidadãos do século XXI. E, curiosamente, é uma habilidade que nos faz mais humano. Precisamos urgentemente redirecionar nossos esforços e recursos para ensinar nossos estudantes a compreender esse interessante paradoxo: o raciocínio computacional nos torna cada vez mais dependente e, ao mesmo tempo, diferentes dos computadores. Entender como podemos ser mais produtivos e criativos – mesmo sendo mais dependentes – é o maior desafio dos educadores que querem repensar a tecnologia na sala de aula (Blikstein, 2008).

O quadro 1 apresenta as dimensões de contextos existentes na Sociedade do Conhecimento com Educação Formal, Informal e Cooperativa; no Contexto Educacional e Sustentabilidade. Para formulação de algumas ideias para as diferentes áreas de enfoque, foram elencadas metas estratégicas de implementação de diferentes ações que possam produzir impacto e benefícios a todos.

O ponto central deste quadro depende da informação, mídias e outros provedores de informação encontrados na internet e representa as fontes de informação que poderiam estar organizadas, arquivadas para uso e benefício de todos, via cloud computing.

QUADRO 1. DESENVOLVIMENTO DE ESTRATÉGIAS, AGENTES, METAS E IMPACTOS

DIMENSÃO CONTEXTUAL	ÁREAS DE ENFOQUE	METAS/ESTRATÉGIAS	IMPACTOS
Sociedade do Conhecimento Cultura digital Liberdade de expressão e de criação Pluralismo Multimidiático Mídias provedoras de informação ética, confiável e de qualidade para todos	Educação Formal Ministério da educação, Conselhos Educacionais, Diretorias de escolas, universidades	. <i>Design Thinking</i> para criação de projetos contextualizados . Programas de formação permanente . Interação universidade x espaços educacionais . Programas extra curriculares, parcerias e conexões com programas de educação formal, sites desenvolvidos por estudantes, festivais de cinema, de games, parcerias público-privadas etc.	. Desenvolvimento de competências midiáticas e informacionais de acesso a todos e de mesma qualidade para todos . Uso de estratégias pedagógicas, seleção de recursos, desenvolvimento e implementação de soluções . Formação de professores apropriados de cultura digital e informacional
	Espaços Educacionais Informais Museus, Bibliotecas, Associações profissionais, ONGs, órgãos responsáveis pela produção e regulação das mídias e de informações etc.		
	Espaços Informais		
	Diretores/produtores de filmes, agência de radiodifusão, Conselhos de Publicidade, ONGs, parques temáticos, institutos	programas na internet, bibliotecas, museus, institutos culturais, teatro, mídia impressa e radiodifusão, parcerias com empresas etc.	. Relevância da mídia, internet e outros provedores de informação que possam ser usados para compartilhar cultura, democracia, paz, ética etc.
	Mundo Corporativo Empresas de mídias, Associações de jornalistas, desenvolvedores de sites, telecomunicação, entretenimento etc.	Elaborar mecanismos de gerenciamento e de avaliação; adoção da sustentabilidade educacional ou de outros aspectos importantes; formulação de pesquisas, difusão de resultados.	. Definição e avaliação necessidades informacionais, utilizadas de maneira ética, colaborativa e de produção de conteúdo contextualizado.
Contexto Educacional	. Desenvolvimento da sustentabilidade . Reforma curricular para uma educação c/ TIC . Formação de professores (<i>Digital Literacy; Informational Literacy</i> e estudos TPACK	Promover parcerias, criar intercâmbio da sustentabilidade educacional c/ fomento da informática nos âmbitos regionais, nacionais e internacionais.	. Melhoria do acesso às mesmas informações, pesquisas, estudos, aprendizagem e demandas benéficas à vida pessoal.
Sustentabilidade	. Transparência e Responsabilidade . Inclusão escolar e inclusão social Resiliência Desenvolvimento sustentável Liberdade de associação, tolerância, igualdade de gêneros, fortalecimento das pessoas etc.	. Manter provedores de internet com competências individuais, informação, mudanças coletivas para o bem comum; provedores de memórias, documentação de acordo com suas responsabilidades; facilidade de acesso; manter princípios avançados da sociedade de conhecimento etc.	. Competências individuais transformadas em mudanças coletivas para o bem comum e no desenvolvimento de conquistas como o fácil acesso às mídias, instituições de memória, de documentação, armazenadas conforme princípio avançado da sociedade do conhecimento etc.

Fonte: Adaptado pelos autores *The International Bank for Reconstruction and development; The World Bank, USA, 2005.*

As metas estratégicas sugeridas resumem algumas das ações que justificam o uso das informações e de engajamento, seja em espaços formais ou informais. O acesso, a função social de cada contexto, as estratégias adequadas podem favorecer a conscientização dos cidadãos sobre a finalidade da Sustentabilidade, de forma geral, assim como o conhecimento e análise crítica de suas necessidades informacionais.

Os impactos em cada contexto referem-se ao conhecimento básico que todos cidadãos devem ter sobre suas funções, natureza e padrões profissionais e éticos, estabelecidos ou não em cada mídia acessada.

Estas dimensões representam uma grande questão tanto para a Educação quanto para a Computação, ou seja, reunir ações multidisciplinares para criar plataformas distribuídas de auxílio à qualificação profissional e ao enriquecimento intelectual da população. Essas plataformas devem integrar ferramentas de comunicação, por exemplo, compatíveis com a Web como um enorme sistema operacional dinâmico e inteligente.

No caso da Educação Escolar significa: saber utilizar as estratégias da Pedagogia de Projetos, a partir de um problema formulado sobre temática interdisciplinar; prever, seja qual for a escolha da tecnologia a ser utilizada, as competências de explorar o que a escola possui, explorar as ideias existentes; prototipar modelos para resolução de problemas que envolvam raciocínio computacional (analisar, sintetizar, argumentar, investigar hipóteses); atuar em equipe; tomar decisões; saber argumentar com criatividade e inovação.

Pesquisas acadêmicas podem colaborar com a imersão nas escolas para realizar os desafios apontados com a finalidade de ampliar o desenvolvimento da sustentabilidade educacional e apropriação das tecnologias via cloud computing.

As diretrizes educacionais e políticas podem reduzir o engessamento e/ou isolamento dos componentes curriculares existentes na escola, "vindos de cima (diretorias de ensino, MEC etc)". Requer a participação interdisciplinar dos professores, caso contrário, os docentes permanecem desmotivados e pouco empenhados no desenvolvimento da educação com tecnologias.

Buscar formas inovadoras de avaliação podem eliminar a questão da competitividade; da punição pelo erro. A avaliação de competências e habilidades previstas pela legislação educacional precisa ter caráter processual com atividades dinâmicas e flexíveis, não se esquecendo das atividades de recuperação que podem ser fortemente apoiadas pelas tecnologias digitais.

Outra estratégia que merece destaque é saber fazer escolhas metodológicas contextuais, mais próximas das realidades dos alunos, com ênfase na autonomia e nos pressupostos da gamificação, sem gestão do tipo tradicional de comando-controle-supervisão; dar relevância aos grupos focais para que os feedbacks possam ser ouvidos, com mecanismos de autoavaliação, vivência compartilhadas das hipóteses construtivas (e não dos "erros").

4. Implicações Finais

Este artigo estabeleceu algumas provocações para ampliar o debate e os estudos sobre o tema, ainda restrito para a realidade escolar brasileira, de qualquer nível ou modalidade de ensino. Diante delas, o que se pode pensar sobre o futuro é como tornar a educação sustentável com os recursos que cada espaço de ensino e de aprendizagem possuem e como a computação pode auxiliar.

O artigo defende que a comunidade mediada pelas tecnologias não pode ser estudada apenas pelos avanços tecnológicos ou comerciais de sua oferta, mas pelo impacto sociocultural que produzem nas pessoas, em seus contextos de vida e de relações interpessoais. Critica a subutilização das potencialidades interativas da web, suas dificuldades de acesso, a heterogeneidade na construção das identidades e defende nova postura comunicacional, alicerçada na autoria do usuário, na lógica da interatividade e constantemente (re) significada.

Referências

- Barr, V. e Stephenson, C. (2011). Bringing computational thinking to K-12: what is Involved and what is the role of the computer science education community?. *Acm Inroads*, 2(1), 48-54.
- Blikstein, P. (2008). “O Pensamento Computacional e a Reinvenção do Computador na Educação”. Disponível em: < <http://bit.ly/1IXIbNn>>. Acesso em: 10 de abr. 2016.
- Blikstein, P. (2010 a). Can non-intelligent behavior generate intelligence? Multi-agent computational modeling as a theory-building tool in developmental psychology and education research. *Jean Piaget Society Annual Conference (JPS 2010)*, Saint Louis, MO.
- Blikstein, P. (2010 b) [symposium organizer and chair]. A New Age in Digital Tangible Interfaces for Learning. In K. Gomez, L. Lyons, & J. Radinsky (Eds.), *Learning in the Disciplines: Proceedings of the 9th International Conference of the Learning Sciences (ICLS 2010)*. University of Illinois at Chicago: Chicago, IL.
- Pereira, A. Bosco e Piconez, S C B. (2016) Abordagem Interativa na aprendizagem da Matemática com uso de games no celular e os conteúdos curriculares do Ensino Fundamental. *Anais do SBIE*, Uberlândia, 2016.
- Brennan, K. e Resnick, M. (2012). New frameworks for studying and assessing the development of computational thinking. In *Proceedings of the 2012 annual meeting of the American Educational Research Association*, Vancouver, Canada.
- Cassel, L. N. (2011). Interdisciplinary computing is the answer: now, what was the question?. *ACM Inroads*, vol. 2, issue 1. p. 46.
- De Paula, B. H., Valente, J. A. e Burn, A. (2014). O uso de jogos digitais para o desenvolvimento do currículo para a Educação Computacional na Inglaterra. *Currículo sem Fronteiras*, v. 14, n. 3, p. 46-71.
- Ekanayake, Jaliya and Fox, Geoffrey. (2010) “High Performance Parallel Computing with Clouds and Cloud Technologies”, in *Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering*. Volume 34, 2010, pp 20-38.
- Grassian, E.S.; Kaplpwitz, J.R. (2001) *Information Literacy Instruction: theory and practice*. Edison, NJ: *Neal-Schumam Publishers*.
- Mestre, P. et al. (2015) Pensamento Computacional: Um estudo empírico sobre as questões de matemática do PISA. In: *Anais dos Workshops do Congresso Brasileiro de Informática na Educação*. p. 1281
- NIST (2013) National Institute for Standards and Technology of The NIST Definition of Cloud Computing (*NIST Special Publication 800-145*). Disponível em: <http://csrc.nist.gov>

- Piconez, Stela. C B. (2004) Sistema Transversal de Ensino-Aprendizagem: por uma pedagogia de inclusão escolar. *Cadernos Pedagógicos Reflexões (USP)*, São Paulo, v. 1, n. 4, p. 9-50.
- Piconez, S C B et al. (2013) "Formação Permanente de Educadores, Recursos Educacionais Abertos e Integração dos Conhecimentos". In: *Recursos Educacionais Abertos e redes sociais*. Okada, A. (org.) 2a. ed. São Luís,MA.
- Righi, R. da Rosa. (2013) Elasticidade em cloud computing: conceito, estado da arte e novos desafios, In *Revista Brasileira de Computação Aplicada*, v.5, n2., São Paulo.
- THE INTERNATIONAL BANK FOR RECONSTRUCTION AND DEVELOPMENT: THE WORLD BANK. (2005) *Conceptual Framework for ICT in Monitoring and Evaluation of ICT in Educational projects*, USA.
- Tran V, et al. (2013) On the underlying assumptions of threshold Boolean networks as a model for genetic regulatory network behavior. *Front Genet* 4:263
- Zufo et al. (2013). A Computação em nuvem na Universidade de São Paulo. In *Revista da USP*, no.97.
- Zanetti, H.A.P. et al. (2016) Pensamento Computacional no Ensino de programação: uma revisão sistemática da literatura brasileira. In *Anais do XXVII Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*.

O Desafio de Projetar Recursos Educacionais com uso de Realidade Virtual e Aumentada

Alexandre Cardoso¹, Cláudio Kirner², Ismar Frango³, Romero Tori⁴

¹FEELT – Faculdade de Energia Elétrica – Universidade Federal de Uberlândia (UFU)
Av. Joao Naves de Avila, 2121 – 38400-902 - Uberlândia – MG – Brasil

²Instituto de Matemática e Computação – IMC
Av. BPS, 1303, Bairro Pinheirinho
Itajubá – MG – Brasil

³Universidade Presbiteriana Mackenzie
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Computação
Rua da Consolação, 930 - 01302-907 - São Paulo - SP

⁴PCS - Departamento de Engenharia da Computação e Sistemas Digitais
Av. Prof. Luciano Gualberto, trav.3 n°.158 - Universidade de São Paulo
São Paulo - SP – Brasil

alexandre@ufu.br, ckirner@gmail.com, ismar.silveira@mackenzie.br,
rometori@gmail.com

Abstract. *This paper discusses the challenges related to the insertion of Virtual and Augmented Reality in the teaching and learning processes, considering their multidisciplinary aspect, the adherence to Web 3.0 and a scenario of possible gains and results with such an insertion. There will be pointed out the features that made VR and AR solutions with a potential big impact, despite not properly explored. as well as the challenges that are presented to Computers and Education field, and possible approaches to solve them.*

Resumo. *Este artigo discute os desafios relacionados à inserção de Realidade Virtual Aumentada nos processos de ensino e aprendizagem, considerando seu caráter multidisciplinar, a aderência à Web 3.0, a adequação da mídia ao conteúdo e o cenário de possíveis ganhos e resultados com tal inserção. Destacam-se as características que tornaram RV e RA soluções com potencial grande impacto, ainda que não devidamente explorado, na educação, bem como os desafios que se apresentam à área de Informática na Educação e possíveis abordagens para solucioná-los.*

1. Realidade Virtual e Aumentada na Educação

Realidade Virtual (RV) e Realidade Aumentada (RA) se distinguem de mídias tradicionais pela imersão e interatividade que propiciam, com uso de soluções apoiadas por 3D. Ao longo dos últimos anos, tais tecnologias têm merecido atenção pela rápida ascensão mercadológica, na cadeia de Inovação. No Hype Cycle for Emerging Technologies (Gartner's Group, 2016), pode-se verificar que a Realidade Virtual (RV) e Realidade Aumentada (RA) são apontadas como uma das 10 apostas para tecnologias emergentes nos próximos anos: a RV caracteriza-se por possibilitar transportar o

usuário para uma realidade diferente daquela na qual se encontra, por meio do conceito de imersão, permitindo-o navegar por cenários tridimensionais (ambientes virtuais) disponibilizados em periféricos que suportam a interação em tempo real. A RA se diferencia da RV por manter o usuário em sua própria realidade, porém enriquecendo-a com elementos virtuais 3D interativos. Além da visualização em si, a imersão do usuário em ambientes RV, ou a ampliação da realidade no caso de sistemas RA, pode ser aprimorada com estimulação de outros sentidos, como a audição e o tato. Como diferenciais de utilização da RV e RA em relação a mídias tradicionais, como textos e vídeos, destacam-se:

- motivação de estudantes e usuários, baseada na experiência de 1ª pessoa, com retenção da informação vivenciada de forma interativa e pessoal;
- grande poderio de ilustrar características e processos, em relação a outras mídias, com dispensa de grandes arquivos;
- possibilidade de visualizações de detalhes de objetos, desde estruturas microscópicas a universos;
- realização de experimentos virtuais, dispensando necessidade de laboratórios físicos, que pode ser de forma atemporal, fora do âmbito de uma aula clássica;
- aprendizagem ativa, propiciada pela interatividade;
- estímulo à criatividade, catalisando a experimentação;
- oferecimento de igual oportunidade de comunicação para estudantes de culturas diferentes, a partir de representações;
- desenvolvimento de habilidades computacionais e de domínio de periféricos.

Entretanto, há uma série de barreiras a serem contornadas de forma a prover condições de geração de material instrucional, apoiado por RV e RA:

- **Geração de Objetos Virtuais:** necessidade de modelagem 3D, que requer detida avaliação de demandas, perfis dos objetos virtuais, capacidade de renderização de máquinas destino e aderência dos modelos aos usuários.
- **Concepção da Interface Comportamental:** Para atingir bom grau de imersão, faz-se necessária a concepção da interface, com definição da função de transferência que permita processos interativos de forma natural, dispensando aprendizado de equipamentos e/ou adaptações incômodas. É comum se encontrar soluções nas quais a escolha do periférico tenha se antecipado a definições da solução;
- **Aspectos de Imersão:** O processo de utilização dos ambientes virtuais e aderência ao ensino/aprendizagem demanda a perda da descrença por parte do usuário na experimentação/navegação/interação. Viabiliza-se tal característica com a imersão do mesmo no ambiente, por meio de aspectos de comportamento desejado, comportamento percebido e atuação motora. O conjunto de software e hardware deve ser adequado à condição de presença do usuário, com processos e reações intuitivos.

2. Ferramentas de Autoria e Popularização de Geração de Conteúdo

RV e RA sempre apresentaram desafios para a sua popularização, decorrentes da dependência de dispositivos especiais e de aplicações desenvolvidas por empresas ou especialistas. A forte motivação dessas áreas nas pessoas, advinda do uso de interfaces avançadas e mais intuitivas no espaço tridimensional (3D), não foi suficiente para superar as limitações e torná-las populares.

No entanto, com a evolução tecnológica, vários elementos encontrados em dispositivos especiais de RV e RA passaram a fazer parte de smartphones. Além disso, surgiram capacetes de plástico e de papelão, sem eletrônica e de baixo custo ou mesmo

custo zero, que podiam ser adquiridos ou construídos pelo próprio usuário para incorporar smartphones. Assim, um dos desafios da popularização de RV e RA, relacionados com a disponibilidade e com o custo dos dispositivos especiais, estava resolvido.

Restava ainda o desafio da disponibilização de aplicações de RV e RA adequadas às necessidades dos usuários. O que se tem majoritariamente, hoje em dia, ainda são aplicações desenvolvidas por empresas e especialistas, que satisfazem mais a curiosidade das pessoas, pelo seu aspecto lúdico, do que suas reais necessidades.

Na área educacional, as demandas por aplicações personalizáveis são muito fortes, em função das características regionais e culturais dos professores e estudantes. A maneira mais apropriada de permitir a personalização das aplicações é ter-se ferramentas de autoria de aplicações adequadas para não especialistas e aplicações customizáveis com facilidade de troca de conteúdo. Desta maneira, professores e estudantes poderão desenvolver e apropriar-se de suas próprias aplicações, disponibilizando-as em repositórios abertos para uso por qualquer interessado, popularizando assim, o desenvolvimento, adaptação e uso de aplicações de RV e RA.

Nesse sentido, à guisa de exemplo, relatam-se aqui alguns aspectos do desenvolvimento e evolução de uma ferramenta de autoria de aplicações de RA e RV, denominada FLARAS (Souza, Moreira, Kirner, 2013), que permite, a usuários não especialistas em informática, definir pontos no espaço 3D e colocar informações e objetos 3D sobre eles. Além disso, esses elementos podem ser configurados, sonorizados com sons e narrações, animados e receberem funcionalidades interativas. No contexto do desenvolvimento do FLARAS, surgiu outro entrave para não especialistas: Como produzir as informações e objetos 3D que irão povoar o ambiente 3D das aplicações de RV e RA? Primeiramente, deve-se considerar que, embora lúdico, muitas vezes os objetos 3D são desnecessários no ambiente 3D, podendo ser substituídos por textos e imagens, facilitando assim o desenvolvimento da aplicação e sua utilização por ficar mais "leve". Uma característica importante das aplicações com FLARAS é que o ambiente virtual interativo fica sobreposto com o ambiente real capturado pela câmera nas aplicações de RA. Ao obstruir-se a câmera, o ambiente virtual permanece na tela, constituindo uma aplicação de RV.

Uma versão da ferramenta FLARAS para dispositivos móveis também foi desenvolvida, constituindo a ferramenta de autoria de aplicações de RA e RV denominada MAREAS. Essa ferramenta, ainda em fase de testes e de produção de tutoriais, deve ser disponibilizada oportunamente para uso gratuito no site de RV mencionado em Kirner (2017). O desenvolvimento de de aplicações de RA e RV ocorre através de toques na tela do smartphone, usando recursos carregados por download ou transferência para o dispositivo.

Finalmente, um grande desafio para a área é tornar as aplicações de RV e RA inclusivas para pessoas com deficiência, envolvendo principalmente deficientes visuais e auditivos. Tanto o FLARAS quanto o MAREAS possuem recursos para apoiar essas pessoas. Para os deficientes visuais, FLARAS se serve de ambientes de baixo relevo, cujos pontos em protuberância são ativáveis pelo usuário e percebidos pela aplicação através de visão computacional, emitindo retorno sonoro. Para os deficientes auditivos, FLARAS usa retorno de texto e imagens com maior intensidade. Esses ambientes com retornos sonoros e textuais, além de servir para a integração dos deficientes a grupos de usuários sem deficiência, também permite estimular o uso de aplicações por crianças e idosos, compensando a falta ou a perda de destreza na interação com a aplicação. Já a

MAREAS usa retorno sonoro para deficientes visuais e retorno de texto e de imagens para deficientes auditivos, baseando-se na ativação por posicionamento na tela de toque do celular. Essas aplicações podem ser customizadas pelos usuários, trocando conteúdo envolvendo principalmente imagens, textos, sons e vídeos, podendo inclusive realizar conversão para outras Línguas, dando assim maior alcance às aplicações.

Portanto, apesar da popularização da RV e da RA ter sido um grande desafio, percebe-se que ferramentas de autoria e abordagens apropriadas podem contribuir para o desenvolvimento e adaptação de aplicações, de forma a atingir um grande número de usuários de forma personalizada, incluindo aqueles que apresentam alguma dificuldade de uso, apoiando principalmente a modernização da Educação.

3. Conteúdo Significativo e Interativo

Sempre que surge uma nova mídia é comum que professores e criadores de material instrucional corram para desenvolver ou adaptar conteúdos para essa nova tecnologia. Em geral ocorre uma certa euforia no início, com corpos docente e discente motivados com a novidade. Artigos e palestras em eventos enaltecem a chegada daquela que parece ser a tecnologia educacional definitiva, com resultados promissores de experimentos, nos quais invariavelmente aparecem avaliações positivas e entusiasmadas dos participantes. Novas startups surgem, como por exemplo a Oculearn (Swift and Allatt, 2017), especializada no desenvolvimento de conteúdos educacionais de RV. Toda essa euforia, contudo, pode se transformar em frustração e até mesmo aversão à mídia que parecia ser a solução para todos os problemas.

Várias são as questões e desafios envolvidos no uso de mídia em educação (Tori, 2010). A primeira questão é que o ser humano gosta de novidade. Isso explica porque os primeiros experimentos de uso de uma nova mídia invariavelmente conseguem envolver alunos e professores e são bem avaliados. Esses bons resultados incentivam a adoção crescente dessa novidade, muitas vezes, com grande foco na mídia e pouco no conteúdo. Ao deixarem de ser novidade os conteúdos que não forem excelentes tornam-se tediosos e o desgaste provocado pelos conteúdos menos interessantes acaba por prejudicar a aceitação até mesmo daqueles melhores. Outro erro comum são comparações entre “aulas convencionais” e “aulas produzidas com a nova mídia”. Essas comparações dificilmente conseguem separar mídia de metodologia. Além disso, as condições e os investimentos em preparação são discrepantes, o que compromete qualquer experimento científico, sem falar nos fatores “novidade” e “interesse artificial” que os experimentos com alunos produzem.

É inegável o potencial da RV e da RA como forma de tornar os conteúdos mais imersivos e eficazes a custos menores que transportar fisicamente os alunos para outras realidades ou criar réplicas e/ou simulações físicas de fenômenos. Mas para que os conteúdos virtuais imersivos sejam bem sucedidos é importante que alguns requisitos sejam atendidos:

- **Significado:** Os conteúdos devem ser significativos para os alunos, ou seja, devem fazer sentido e se relacionar com seus conhecimentos. É importante que o aprendiz entenda a importância daquilo que irá aprender e vislumbre como isso pode impactar a sociedade ou sua futura profissão. O interesse deve ser pelo conteúdo, não pela mídia. Essa irá apenas torná-lo fácil e agradável de ser aprendido, mas não tem capacidade de torná-lo significativo.
- **Interatividade:** A interatividade é o potencial de interação percebido pelo usuário de determinado sistema (Tori, 2010). Mesmo que o aluno não precise interagir o tempo todo, o fato de saber que pode interagir faz toda diferença. Isso é interatividade, a

qual reduz a distância entre aluno e conteúdo (Tori, op. cit.). Se o aprendiz não se sentir próximo ao conteúdo de RV ou RA a aprendizagem ficará aquém do potencial que a mídia, o conteúdo e a metodologia oferecem. A interatividade também deve ser significativa. O interator precisa perceber o impacto de suas ações e sentir que essas causam interferências importantes e significativas ao sistema.

- **Qualidade:** Além da qualidade técnica do conteúdo desenvolvido para RV e RA (não pode haver atrasos, distorções, erros etc..), o que, por si já é um grande desafio, deve haver qualidade no design, na narrativa e na interface. A qualidade pedagógica nem precisa ser citada porque essa é condição necessária e indispensável. Para a criação de realidades verossímeis é indispensável o cuidado com a narrativa (a experiência do cinema e dos games pode ajudar) e evitar fatores que lembrem o participante de que se encontre em outra realidade. A interface tem um papel importante nesse ponto. Sair da imersão para acionar menus e comandos da forma tradicional quebram o realismo e a imersão. Daí a importância de se criar formas de interação integradas ao ambiente virtual e o uso de interfaces naturais. Um dado importante é que a fidelidade gráfica da representação dos ambientes e personagens não é o fator mais relevante (Jerald, 2016).

4. Reuso de Recursos Educacionais com suporte a RV e RA

Por fim, uma discussão sobre os aspectos de reúso de recursos educacionais se faz necessária, dentro do âmbito de aplicações educacionais de RV e RA. Nos anos iniciais da pesquisa em Objetos de Aprendizagem (OA), acreditava-se haver uma relação direta entre a granularidade dos OAs e seu potencial de reúso (Silveira et al., 2007). Esta convicção era possivelmente influenciada pelas experiências de reúso no âmbito da Engenharia de Software - em especial no que tange ao desenvolvimento orientado a componentes, mas a evolução da área veio a mostrar que tal correlação nem sempre é observada, uma vez que no campo educacional, o contexto no qual os OAs se inserem desempenha papel extremamente importante, o que torna o real reúso de OAs fora de seu contexto uma tarefa mais complexa.

Novas abordagens vêm surgindo por meio da aplicação de princípios de abertura ao *design* de OAs, no âmbito do movimento REA (Recursos Educacionais Abertos) (Wiley e Green, 2012). Ao adotar os princípios 5R - Reúso, Revisão, Remixagem, Redistribuição e Retenção de licença (Wiley, 2014), os REA podem aumentar o potencial de reúso dos recursos educacionais, uma vez que reúnem as características necessárias a diferentes tipos de adaptação e modificação que se requeiram. Entretanto, isto não é facilmente quantificável, o que leva a um desafio específico no contexto dos REA, como aponta Silveira (2016), que é a superação da falta de evidência de reúso dos REA. Beaver (2013) alerta que o reúso de REAs não é facilmente rastreável, uma vez que ele pode se dar de maneira indireta (como inspiração na criação de outros REAs) ou ainda em situações de *repurposing*.

Ao se especializar esta discussão no que tange aos recursos educacionais com suporte interfaces mídias (ainda) não-convencionais, dois desafios principais, específicos relacionados ao reúso surgem. O primeiro deles é relacionado à revisão, remix e *repurposing* de REAs com suporte a RA/RV: o suporte a alterações constantes é característica inerente aos REA. Ao suportar interfaceamento com RV e RA, esta característica converte-se em um desafio tanto técnico quanto ao que diz respeito ao processo de *design* instrucional. Há níveis crescentes ou decrescentes de complexidade quando se trata de promover mudanças em conteúdos projetados para suportar RV e RA. A Figura 1 exibe um *continuum* de complexidade em relação aos diferentes graus

de mudança possíveis em conteúdo educacional desta natureza.



Figura 1 Continuum de complexidade de realidade de alterações em RA com suporte a RA e RV. Conteúdos autores

O segundo desafio refere-se ao reuso entre dispositivos. Um dos principais problemas no que tange ao reuso de aplicações está na incompatibilidade entre dispositivos. No contexto educacional, o desenvolvimento de recursos digitais com suporte a RA e RV frequentemente está intrinsecamente conectado a um determinado dispositivo, ou ainda a uma família bem-definida destes. Nesse sentido, iniciativas como a OSVR - *Open-source Virtual Reality* (Boger, Pavlik e Taylor, 2015) lançam luz sobre este problema, propondo uma arquitetura que permita a interoperabilidade de conteúdo, ainda que desenvolvidos para dispositivos específicos.

5. Proposta de Metas e Ações para Enfrentar o Desafio

O Quadro 1 sintetiza, nas duas primeiras colunas, um conjunto de metas e ações para enfrentar o desafio e, na última coluna apresenta formas para monitoramento e avaliação do cumprimento das metas e ações para a próxima década.

Quadro 1: Metas, Ações e Monitoramento.

Metas	Ações	Monitoramento e Avaliação
Geração de recursos educacionais, baseados em RV e RA	Constituição de equipes multidisciplinares para apoio e acompanhamento de projetos	Avaliar o resultado da aderência do material produzido.
	Disseminação de ferramentas de autoria, que dispensam aprendizado de etapas demoradas e de programação	Avaliar a utilização das mesmas e as demandas por aprimoramento.
Garantia de qualidade do conteúdo de RV e RA	Estabelecimento de padrões de qualidade técnica dos ambientes e dispositivos	Avaliação da qualidade técnica e sua aderência aos padrões
	Estabelecimento de diretrizes para o desenvolvimento de conteúdos significativos e adequados	Avaliação da aderência dos conteúdos às diretrizes
	Estabelecimento de heurísticas para	Aplicação das heurísticas

	avaliação da experiência do aluno (interface, interatividade, imersão, usabilidade etc.)	para avaliação da experiência do aluno
Popularização da RV e RA	Concepção de ferramentas de autoria para não especialistas	Aferição da facilidade de uso, aceitação da ferramenta pelos potenciais usuários e clientes
	Popularização de material gerado, em RV e RA, por meio de canais de divulgação e Web	Verificação do aumento da audiência.
Reúso e Personalização das aplicações e seus conteúdos	Facilitar compartilhamento de conteúdo; facilitar aprendizagem da concepção de novas aplicações	Mensuração da facilidade de compartilhamento e de criação de novos recursos.
	Criação de repositórios abertos de aplicações e conteúdos educacionais para RV e RA.	

Vale ressaltar que este quadro pretende-se uma síntese, não exaustiva, das discussões levantadas com maior detalhe no corpo deste artigo.

6. Considerações Finais

Apontadas como promessas computacionais eficazes na aproximação e estreitamento do diálogo entre os agentes dos processos de ensino e aprendizagem, Realidade Virtual e Aumentada podem auxiliar, sobremaneira, alguns desafios de tais processos.

Entretanto, como pôde-se relatar, há diversos aspectos fundamentais que serão colocados como desafios para a disseminação de tais tecnologias. Os autores apontam, para a próxima década, a possibilidade de popularização de recursos educacionais por tais agentes, com dispensa de aprendizagem de técnicas e métodos complexos de programação, a geração de conteúdo significativo e o reúso de recursos educacionais já concebidos e em bom uso como elementos de tais processos, tendo os princípios de abertura como norteadores para um efetivo reúso.

Há um conjunto de desafios importantes a serem enfrentados pelas comunidades científica e de prática; o Quadro 1, apresentado na última seção deste artigo, buscou sintetizar os principais direcionamentos para o avanço do estado da arte no que tange à concepção de recursos educacionais com suporte a RV e RA. Os autores esperam, com isso, haver contribuído para as discussões a respeito deste tópico, cuja importância na área de Informática na Educação tende a crescer de maneira ainda mais significativa nos anos vindouros, considerando todos os avanços tecnológicos e a crescente pervasividade de dispositivos e soluções computacionais no campo de RV e RA.

Referências

- Boger, Y. S., Pavlik, R. A., & Taylor, R. M. (2015). "OSVR: An open-source virtual reality platform for both industry and academia". *IEEE Virtual Reality*, p. 383-384.
- Gartner Group (2016) "Emerging Technology Hype Cycle". Disponível em: http://blogs.gartner.com/smarterwithgartner/files/2016/08/Emerging-Technology-Hype-Cycle-for-2016_Infographic_revise2.jpg, Acesso em: 17/04/2017.
- Jerald, J. (2016) *The VR Book: Human-Centered Design for Virtual Reality*. Association for Computing Machinery and Morgan & Claypool Publishers, 2016.
- Kirner, C. (2017). *Realidade Virtual e Aumentada*, 2017, Disponível em: <http://realidadevirtual.com.br>. Acesso em: 18/04/2017.

- Silveira, I. F., Araújo, C. F., Amaral, L. H., Alcântara de Oliveira, I. C., Schimiguel, J., Ledôn, M. F. P., & Ferreira, M. A. G. V. (2007). "Granularity and reusability of learning objects". In: Learning objects and instructional design, v. 1, 139-170.
- Silveira, I. F. (2016). "OER and MOOC: The need for openness". *Issues in Informing Science and Information Technology*, 13, 209-223.
- Souza, R.C., Moreira, H.D.F. Kirner, C. (2013) FLARAS - Flash Augmented Reality Authoring System. Disponível em: <http://ckirner.com/flaras2>. Acesso em: 18/04/2017.
- Swif, R. and Allatt, D. (2017) Virtual Reality In Education: Our Path to Reality. London: Oculearnig.
- Tori, R. (2010) Educação sem Distância. São Paulo: Editora Senac, 2010.
- Wiley, D. (2014). The Access Compromise and the 5th R. Iterating toward openness. Disponível em <https://opencontent.org/blog/archives/3221>. Acesso em: 13/4/2017.
- Wiley, D., & Green, C. (2012). "Why openness in education". *Game changers: Education and information technologies*, p. 81-89.

8º WCAMA - Workshop de Computação Aplicada à Gestão do Meio Ambiente e Recursos Naturais

Apresentação

O 8º Workshop de Computação Aplicada à Gestão do Meio Ambiente e Recursos Naturais (WCAMA) teve como objetivo promover a integração efetiva da área de computação (metodologias e ferramentas) com temas relacionados ao meio ambiente (política e gestão).

Como a gestão dos recursos naturais é uma atividade complexa e dinâmica, ela requer a integração entre atores nos campos social, político e tecnológico para serem efetivamente desenvolvidas e implantadas.

Neste contexto, busca-se discutir do ponto de vista da computação o desenvolvimento de metodologias e ferramentas para gestão do meio ambiente e recursos naturais. Mais especificamente, trabalha-se no sentido de tratar eficientemente i) o gerenciamento e a comunicação entre grandes volumes de dados; ii) o desenvolvimento de técnicas para análise destes dados; e, iii) a otimização, o controle e integração dos dados gerados.

Nesta edição, o WCAMA recebeu 16 submissões de artigos, dos quais 11 artigos completos e 5 artigos curtos. Destes, foram aceitos para publicação 5 artigos completos (~45% de aceitação) e 3 artigo curto (~60% de aceitação).

Gostaríamos de agradecer o apoio dos colegas pesquisadores do comitê de programa e das nossas instituições (USP E UPF); e, saudamos os autores dos artigos e os participantes do WCAMA 2017.

**Antonio Mauro Saraiva (Universidade de São Paulo), Carlos Amaral Hölbig
(Universidade de Passo Fundo)**

Comitê Organizador

Coordenação Geral

Antonio Mauro Saraiva (Universidade de São Paulo)

Coordenação do Comitê de Programa

Carlos Amaral Hölbig (Universidade de Passo Fundo)

Comitê de Programa

Adenauer Yamin (Universidade Federal de Pelotas), Adriano Werhli (Universidade Federal do Rio Grande), Alessandro Machado de Araújo (Universidade Federal de Goiás), Aline Loreto (Universidade Federal de Pelotas), André Luiz Moura (Universidade Federal de Goiás), Anselmo Paiva (Universidade Federal do Maranhão), Antonio Carlos da Rocha Costa (Universidade Federal do Rio Grande), Carlos Amaral Hölbig (Universidade de Passo Fundo), Claudio Baptista (Universidade Federal de Campina Grande), Diana Adamatti (Universidade Federal do Rio Grande), Eliane Araújo (Universidade Federal de Campina Grande), Hailton Lemos (Faculdade Nossa Senhora Aparecida), Jean-Pierre Briot (Université Pierre et Marie Curie), João Balsa (Universidade de Lisboa), José Laurindo Campos dos Santos (Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia), Marco Antônio Oliveira Domingues (Instituto Federal de Pernambuco), Marilton Aguiar (Universidade Federal de Pelotas), Pedro Andrade (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), Tiago Garcia de Senna Carneiro (Universidade Federal de Ouro Preto), Valéria C. Times (Universidade Federal de Pernambuco), Vinícius Sebba Patto (Universidade Federal de Goiás), Vinicius Cunha M Borges (Universidade Federal de Goiás), Vinicius Ribeiro (Universitário Ritter dos Reis)

Palestras

Sistema de Informação sobre a Biodiversidade Brasileira – SiBBr

Dra. Andrea Ferreira Portela Nunes (Diretora Nacional do SiBBr. Ministério de Ciência, Tecnologia, Inovação e Comunicações - MCTIC)

O SiBBr é uma plataforma on-line que pretende reunir a maior quantidade de dados e informações existentes sobre a biodiversidade do Brasil. Seu objetivo é apoiar a produção científica e processos de formulação de políticas públicas e tomada de decisões associadas à conservação ambiental e ao uso sustentável dos recursos naturais, por meio do estímulo e facilitação à digitalização, publicação na internet, integração de dados de livre acesso e uso de informações sobre a biodiversidade brasileira. Com o SiBBr, o governo brasileiro atende a uma recomendação da Convenção sobre a Diversidade Biológica (CDB), do qual o Brasil é um dos países signatários, no que concerne a integração e disponibilização de informações sobre biodiversidade. O projeto é associado à Plataforma Global de Informação sobre Biodiversidade (GBIF, na sigla em inglês), a maior iniciativa multilateral de acesso virtual a informações biológicas de aproximadamente 60 países. O GBIF soma mais de 570 milhões de registros de espécies provenientes de 766 instituições. Assim, com o SiBBr, o Brasil integra o maior esforço global para conhecer melhor a biodiversidade do planeta e disponibilizar gratuitamente as informações existentes.

Bio: Dra. Andrea Ferreira Portela Nunes possui graduação em Ciências Biológicas pela Universidade Santa Úrsula (1984), mestrado em Ciências Biológicas pela Universidade Federal do Pará (1992) e doutorado em Ciências Biológicas (Zoologia) pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (2001). Trabalha no Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação desde 1988, tendo atuado como Pesquisadora do Museu Paraense Emílio Goeldi e passado pela Coordenação-Geral de Políticas e Programas em Biodiversidade e pela Assessoria de captação de recursos internacionais da Secretaria Executiva do MCTI. Atualmente está à frente da Coordenação-Geral de Gestão de Ecossistemas do MCTI. Tem larga experiência na implementação de políticas públicas em meio ambiente e biodiversidade e no acompanhamento e avaliação de políticas e programas em C&T. Atua na coordenação de redes e programas do MCTI, tais como, o Programa Nacional de Pesquisas em Biodiversidade - PPBio, a Rede Pró-Centro-Oeste, a Rede Bionorte, a Rede ComCerrado, a Rede Geoma, o Programa LBA e o Programa AmazonFace. É Diretora Nacional do Sistema de Informação em Biodiversidade Brasileira -SiBBr. Possui formação na área de Zoologia, com ênfase em Ecologia de Paisagens, Ecologia de Comunidades e Ecologia de populações.

Trabalhos aceitos

Sistema de Suporte à Decisão baseado em Lógica Fuzzy para Outorga de Recursos Hídricos Superficiais

Carlos Ueslei R. de Oliveira, Peter Zeilhofer

Segmentation of land use maps for precision agriculture

Wilian F. Costa, Michel J.M. Bieleveld, Raphael G. Chinchilla, Antonio M. Saraiva

Plataforma Web para acesso e disponibilização de dados climáticos

Angela Mazzone, Felipe Borella, Pablo Chitolina, Guilherme Tochetto, Jonatas Casiraghi, Fábio Augusto Antunes de Oliveira, Chou Sin Chan, Willingthon Pavan, Carlos Amaral Holbig

Aplicação de RNAs para Predição de Índice de Viscosidade: uma avaliação da qualidade de biodiesel

Raquel Machado de Sousa, Sofiane Labidi, Jailson Nunes Leocadio

Biodiversity Data Quality Profiling: A practical guideline

Allan Koch Veiga, Antonio Mauro Saraiva

Proposta de um sistema web para padronização, registro e integração de dados brutos em Ictiologia

Emerson Luiz F. Borges, Adriana Pereira Medeiros

Avaliação de Diferentes Arquiteturas de Redes Neurais Recorrentes na Previsão do Nível de Atividade de Abelhas

Pedro A. B. Gomes, Eduardo C. de Carvalho, Helder M. Arruda, Paulo de Souza, Gustavo Pessin

Previsão de precipitações utilizando a técnica de previsão por conjuntos e um algoritmo baseado no vizinho mais próximo

Márcio Francisco Dutra e Campos, Maury Meirelles Gouvêa Júnior

Sistema de Suporte à Decisão baseado em Lógica *Fuzzy* para Outorga de Recursos Hídricos Superficiais

Carlos Ueslei R. de Oliveira¹, Peter Zeilhofer¹

¹Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental– Universidade Federal do Mato
Grosso (UFMT)

Av. Fernando Corrêa da Costa, 2367 – 78060-900 – Cuiabá – MT – Brasil

carlos@ic.ufmt.br, zeilhoferpeter@gmail.com

Abstract. *The growing demand for water resources has forced managers to create control mechanisms to ensure the sustainability of water sources and manage conflicts among users. In this paper we present the development of a Decision Support System based on fuzzy logic and AHP to evaluate the effects of multiple uses in watersheds on water availability considering quantitative and qualitative characteristics of water. It also allows the generation of scenarios to solve possible conflicts, distributing the burden for maintenance of the hydrological system between users designed and already installed in a basin. Design and operation of the prototype and its outputs are illustrated.*

Resumo. *A crescente demanda por recursos hídricos tem obrigado os gestores a criarem mecanismos de controle para garantir a sustentabilidade dos mananciais e gerir conflitos entre usuários. Neste trabalho está exposto o desenvolvimento de um Sistema de Suporte à Decisão baseado em lógica fuzzy e AHP para avaliar os efeitos dos usos múltiplos em bacias hidrográficas sobre a disponibilidade hídrica considerando características quantitativas e qualitativas da água. Possibilita também a geração de cenários para solução de possíveis conflitos, distribuindo o ônus para manutenção do sistema hidrológico entre usuários projetados e já instalados em uma bacia. Concepção e funcionamento do protótipo e suas saídas são ilustrados.*

1. Introdução

A água é um elemento indispensável para a manutenção da vida e, apesar da sua abundância sobre as superfícies do planeta, somente uma pequena fração de 0,007% da água potável se encontra em rios e lagos de onde é retirada a maior parte para usos consuntivos [USGR 2016].

A partir de 1980 a captação mundial de água doce tem aumentado cerca de 1% ao ano, principalmente devido à crescente demanda dos países em desenvolvimento. [UNESCO 2016]. O aumento da retirada da água de rios e lagos para usos consuntivos e o aumento do lançamento de efluentes não devidamente tratados têm pressionado a

sustentabilidade desses corpos d'água prejudicando não só o meio ambiente como as comunidades humanas localizadas à sua jusante [Oliveira, 2009].

O Brasil, apesar de ter em geral alta disponibilidade de água doce, da expressiva heterogeneidade hidroclimática, da distribuição demográfica e do desenvolvimento agrícola e industrial, passa por problemas regionais de escassez de disponibilidade em termos quantitativos e/ou qualitativos, podendo gerar conflitos entre usuários. Isso fez com que fosse instalada em 1997 a Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433), seguida pelas respectivas legislações estaduais, responsável por legislar a gestão da água.

Uma das ferramentas utilizadas para o controle do uso é chamada "Outorga de Recursos Hídricos", um contrato firmado entre uma unidade concedente (Órgão Gestor) e um consumidor. No caso da Outorga de águas superficiais é estipulada uma vazão máxima a ser retirada em um determinado trecho de um rio durante um determinado tempo, o chamado uso direto. Caso um consumidor pretenda lançar efluentes é também estipulada uma vazão necessária para depurar esse efluente, vazão essa chamada de uso indireto. A soma dos usos diretos e indiretos de um determinado trecho junto com a soma de todos os usos à montante não podem afetar a vazão ecológica, uma vazão mínima previamente estipulada pelo gestor e necessária para que o rio se mantenha sustentável.

A utilização desses contratos junto com a devida fiscalização ajuda ao Órgão Gestor a ter um maior controle sobre os mananciais, evitando assim possíveis conflitos pelo uso de seus recursos hídricos, mas como gerenciar conflitos quando a vazão disponível para Outorga já está quase que totalmente concedida e o Órgão Gestor recebe novos pedidos de concessão que comprometeriam a vazão ecológica? A simples negação da concessão fará com que o Órgão Gestor tenha problemas de natureza política devido aos impactos socioeconômicos que essa negação trará para as populações afetadas por essa decisão.

Uma forma de resolver esse problema seria diminuir as vazões concedidas em contratos já assinados no mesmo trecho ou em trechos a montante de onde essa entidade deseja se instalar. Essa solução é possível devido ao fato de que o Órgão Gestor tender a ser menos rigoroso nos primeiros contratos de Outorga e também pelo fato de as entidades solicitantes, precavendo-se frente a possíveis aumentos de demanda de vazão no futuro, solicitem uma vazão relativamente maior que a necessária atualmente. O Órgão Gestor poderia dessa forma diminuir sensivelmente a quantidade de vazão contratada de um grupo de usuários, sem prejudicar as suas atividades, de forma a sobrar uma vazão resultante em quantidade suficiente para ser usado por um novo usuário sem prejudicar a sustentabilidade do rio.

A quantidade de alternativas válidas para solucionar esse problema torna complicada a tarefa do Órgão Gestor em tomar a melhor decisão que satisfaça tanto a sustentabilidade do rio quanto ao conjunto de usuários afetados. Um Sistema de Suporte à Decisão (SSD) pode ser usado para analisar todas as alternativas existentes segundo regras estabelecidas pelo Órgão Gestor e apresentar uma lista com as melhores

alternativas existentes, auxiliando assim o Órgão Gestor a tomar a melhor decisão possível.

Nesse contexto, o presente trabalho propõe o desenvolvimento de um SSD que visa disponibilizar uma ferramenta para analisar a disponibilidade hídrica em mananciais superficiais, avaliar a contribuição dos usuários no comprometimento dos recursos hídricos ao longo da bacia e propor, a partir de critérios múltiplos hierarquizados, soluções para compartilhar a disponibilidade hídrica entre usuários concorrentes.

O sistema proposto utiliza a lógica *fuzzy* como técnica para avaliar se as alternativas avaliadas cumprem as regras definidas pelo Órgão Gestor e o método AHP (*Analytic Hierarchy Process*) para categorizar qual regra é mais importante em relação as demais.

2. O Sistema desenvolvido

O sistema Web aqui demonstrado foi desenvolvido usando a ferramenta case Genexus na sua versão 9, gerando o código em Java e acessando uma base de dados PostGreSql 8.

O sistema foi dividido em dois componentes (Figura 1). O primeiro é o módulo da outorga, no qual é possível analisar cada trecho de um determinado rio para identificar quais vazões já foram concedidas e quanto ainda existe de vazão disponível a ser distribuída para novos empreendimentos.

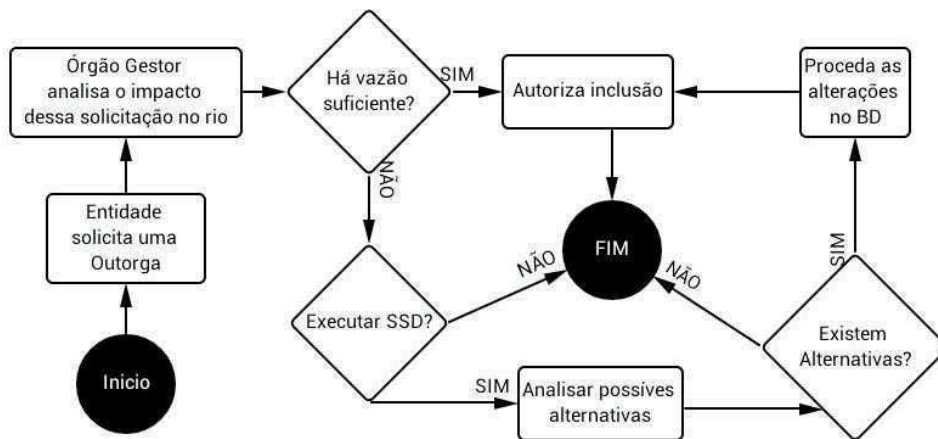


Figura 1 – Fluxograma do funcionamento do Sistema de Outorga proposto

A outra parte é o módulo do SSD que somente é acionado quando a simulação de inserção de um novo empreendimento apresentar um quadro de déficit de vazão em algum dos trechos do rio.

2.1 O Módulo de Outorga

Este módulo foi desenvolvido baseado na metodologia apresentada por Da Hora (2001) que calcula a vazão v ainda disponível para outorga em um determinado trecho através da Equação 1.

$$v_d(i, t) = v^+(i, t) - \sum_{j=\epsilon_M} (u(j) \cdot v(j, t) + v_q(j, t)) + \sum_{j=\epsilon_M} (1 - u(j)) \cdot v(j, t) \quad \text{[Equação 1]}$$

Ou seja, a vazão disponível em um determinado trecho *i* de um rio em um determinado tempo *t*, representada por $v_d(i, t)$, será a diferença entre a vazão máxima disponível para outorga nesse trecho/tempo, representada por $v^+(i, t)$, e a soma de todos os usos diretos (captação) e indiretos (lançamento de efluentes) da água dos empreendimentos existentes desde a montante *M* do rio até esse trecho. A soma dos usos diretos e indiretos em nenhum momento poderá ser maior que a vazão disponível para todo trecho *i* e em todo tempo *t*.

Uma primeira validação do sistema foi realizada a partir de um conjunto de dados referentes a bacia do Rio Coxipó, afluente da margem esquerda do rio Cuiabá (código ANA 6610000), que drena partes do perímetro urbano da cidade de Cuiabá, capital de Mato Grosso e que possui usuários múltiplos com captações e lançamentos de efluentes de diversas origens (indústria, abastecimento público etc.). Figura 2 mostra a situação de alguns trechos do rio Coxipó com a sua vazão média mínima (Vazão em m³/s) - no caso a denominada Q₉₅, que representa a vazão que está presente no rio durante, pelo menos, 95% do tempo. Outros campos representam as concentrações da Demanda Biológica de Oxigênio (DBO), a vazão máxima disponível a ser outorgada, o número de empreendimentos e as captações e lançamentos acumulados nos respectivos trechos.

Trecho	Nº	Vazão em m³/s	DBO	Max. Out	m³/s	Qtd. Emp	Cap. Acum	Lan. Acum	Cap. Ind. Acum	Consumo m³/s	%	Outorga	DNAEE	AFLUENTE	Afluente
1		2,30000	2,00000	0,46000	2	0,00273	0,00531	0,00016	-0,00242	0,00000		0			
2		2,30000	2,00000	0,46000	2	0,00273	0,00803	0,00020	-0,00510	0,00000		0			
3		2,30000	2,00000	0,46000	2	0,00273	0,01075	0,00024	-0,00778	0,00000		0			
4		2,30000	2,00000	0,46000	4	0,01340	0,02361	0,00075	-0,00946	0,00000		0			
5		2,30000	2,00000	0,46000	4	0,01340	0,02633	0,00079	-0,01214	0,00000		0			
31		2,30000	2,00670	0,46000	10	0,02275	0,10578	0,00511	-0,07792	0,00000		0			
32		2,30000	2,00000	0,46000	10	0,02275	0,10850	0,00515	-0,08060	0,00000		0			
33		2,30000	2,00000	0,46000	10	0,02275	0,11122	0,00519	-0,08328	0,00000		0			
34		2,30000	2,00000	0,46000	10	0,02275	0,11394	0,00523	-0,08596	0,00000		0			

Figura 2 – Tela do Sistema mostrando a vazão estimada em alguns trechos do rio Coxipó

Quando um novo empreendimento desejar se instalar em um determinado trecho ele deverá informar ao Órgão Gestor qual será a vazão de retirada necessária e, se houver lançamento de efluentes, a vazão de lançamento do efluente com a concentração de DBO para cálculo da vazão de uso indireto desse empreendimento. De posse desses valores o sistema simula o impacto desse novo empreendimento em um determinado trecho do rio. Se em nenhum trecho, desde o trecho em que esse empreendimento deseja instalar-se até a jusante do rio, houver uma vazão requerida maior que a vazão disponível será permitida a sua inclusão. Uma vez incluído no sistema, os seus dados serão levados em consideração para cálculos posteriores.

Caso o sistema encontre um ou mais trechos entre o trecho desejado e a jusante com vazão requerida maior que a vazão disponível, o sistema mostra os trechos com problemas destacando o trecho com maior déficit de vazão (Figura 3).



Figura 3 – Tela do sistema mostrando características de alguns trechos do rio Coxipó e identificação do trecho com o maior déficit de vazão.

Nesse exemplo, o trecho com maior déficit de vazão é justamente o trecho no qual o empreendimento deseja se instalar, porém, pode acontecer de o trecho de maior déficit se encontra a jusante deste trecho.

O sistema dessa forma permite ao Órgão Gestor decidir sobre a Outorga solicitada. A Outorga pode ser negada para esse empreendimento sob a justificativa que isso afetaria a sustentabilidade do rio a partir daquele trecho, ou o modelo de SSD pode ser inicializado que mostrará outras alternativas que permitam a inclusão desse empreendimento mantendo a sustentabilidade do rio.

2.2 O Módulo de Sistema de Suporte à Decisão

O módulo de Suporte a Decisão tem como objetivo apresentar ao Órgão Gestor uma lista com no máximo 10 agrupamentos de entidades, com no máximo 5 membros cada situados a montante do trecho com maior déficit e que poderiam ter suas vazões sensivelmente diminuída. Esses agrupamentos são então ranqueados de acordo com parâmetros definidos anteriormente pelo Órgão Gestor. Com essa lista de agrupamentos o Órgão Gestor pode decidir qual agrupamento terá suas vazões diminuídas e em qual quantidade para cada membro, liberando assim vazão suficiente para que possa incluir a entidade requisitante da Outorga.

O módulo de suporte a decisão foi implementado utilizando modelo de decisão *fuzzy* proposto por O'Hagan (1993) para inter-relacionar objetivos e critérios do problema na busca pela sua melhor solução. O'Hagan (1993) demonstrou que combinando as operações de união, intersecção e exponenciação é possível construir mecanismos de suporte a tomada de decisão que permitam analisar cada uma das alternativas apresentadas frente aos critérios objetivos e as restrições para a solução do problema proposto.

Para Bellman e Zadeh (1970), uma boa alternativa deve satisfazer tanto os

objetivos quanto às restrições de certo problema. Já uma alternativa ótima será aquela que melhor satisfaça todos os critérios no sentido comum. Eles sugeriram uma regra de conjunção implícita com m objetivos e n restrições de um problema que avalia uma determinada alternativa através de uma intersecção pela fórmula demonstrada na Equação 2.

$$\mu_{G1}(x) \cap \mu_{G2}(x) \cap \dots \cap \mu_{Gi}(x) \cap \mu_{C1}(x) \cap \mu_{C2}(x) \cap \dots \cap \mu_{Cj}(x) \quad [\text{Equação 2}]$$

Onde $\mu_{Gi}(x)$ é o valor difuso para o i -ésimo objetivo avaliado para a alternativa x e $\mu_{Cj}(x)$ é o valor difuso para a j -ésima restrição para a alternativa x . Para resolver essa conjunção é preciso utilizar o operador MIN sobre todos os valores difusos da alternativa x resultando em um novo conjunto difuso $D(x)$ para a decisão que satisfaça tanto os objetivos quanto às restrições do problema, de acordo com Equação 3.

$$D(x) = \text{Min}(\mu_{G1}(x), \dots, \mu_{Gi}(x), \mu_{C1}(x), \dots, \mu_{Cj}(x)) \quad [\text{Equação 3}]$$

O conjunto difuso $D(x)$ será definido sobre todas as alternativas $x \in X$. Para uma ótima tomada de decisão é preciso selecionar a alternativa x^* que terá o mais alto valor de pertinência no conjunto de decisões $D(x)$. A alternativa x^* será aquela que melhor irá satisfazer o conjunto de objetivos e restrições para o problema proposto. Essa alternativa pode ser definida pela Equação 4.

$$x^* = \text{Max}[D(x)] \quad x \in X \quad [\text{Equação 4}]$$

Uma limitação da metodologia proposta por Bellman e Zadeh (1970) é que ela pressupõe que todos os objetivos e restrições do problema possuem o mesmo grau de importância, o que é algo difícil de ser verificado no mundo real. Para resolver essa limitação Yager (1977) sugeriu elevar os valores de pertinência dos conjuntos de objetivos e restrições por um peso que representasse a importância de um determinado objetivo ou restrição frente aos demais para a solução do problema. O peso ajudaria a definir processos de decisão de conjuntos difusos mais representativos para as necessidades do mundo real. Dessa forma a função de decisão é definida como demonstrado pela Equação 5.

$$D(x) = \text{Min}(\mu_{G1}^{\alpha_1}(x), \dots, \mu_{Gi}^{\alpha_m}(x), \mu_{C1}^{\alpha_{m+1}}(x), \dots, \mu_{Cj}^{\alpha_{m+n}}(x)) \quad [\text{Equação 5}]$$

Sendo α o peso que avalia o grau de importância do objetivo m ou da restrição n .

Para mensurar a relativa importância entre os objetivos ou restrições em problemas complexos e assim obter os seus respectivos pesos, Saat (1977) propôs um método de análise multicritério do tipo interativo chamado Analytic Hierarchy Process (AHP), modelo que permite estruturar hierarquicamente qualquer problema com múltiplos critérios, múltiplas decisões e múltiplos períodos. É um processo flexível, que apela para a lógica e ao mesmo tempo, utiliza a intuição. [Orofino, 1996]

Uma estruturação hierárquica demanda primeiramente a definição dos critérios que serão utilizados para a solução do problema. Posteriormente é necessário fazer a comparação de cada par de critérios gerados na etapa anterior, obtendo dessa forma o grau de importância de um critério em relação ao outro para a análise de solução do problema. Ou seja, dado um critério e duas alternativas A e B, qual alternativa que mais satisfaz, e quanto mais em relação ao critério considerado? Para tal julgamento, é utilizada uma escala de referência de 1 a 9, tal como mostrado na Tabela 1.

Tabela 1 – Grau de importância entre um determinado objetivo/restrrição e os outros.

Julgamento	Valores
X é igualmente preferível a Y	1
X é igualmente a moderadamente preferível sobre Y	2
X é moderadamente preferível sobre Y	3
X é moderadamente a fortemente preferível sobre Y	4
X é fortemente preferível sobre Y	5
X é fortemente a muito fortemente preferível sobre Y	6
X é muito fortemente preferível sobre Y	7
X é muito fortemente a extremamente preferível sobre Y	8
X é extremamente preferível sobre Y	9

Os resultados obtidos com os julgamentos, através da comparação paritária são colocados numa matriz A quadrada n x n. Este procedimento se repete para todos os elementos do nível, com respeito a todos os elementos de um nível acima.

A matriz de comparação A para comparar n elementos (a) é demonstrada na Equação 6.

$$A = [a_{ij}] \text{ (onde } a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}}, a_{ii} = 1, 1 \leq i \leq n, \text{ e } 1 \leq j \leq n) \quad \text{[Equação 6]}$$

A diagonal principal é sempre 1. Nota-se a reciprocidade através da diagonal, ou seja, se o elemento $a_{12} = 3$, então $a_{21} = 1/3$.

De acordo com Betencourt (2000), o próximo passo é calcular o peso relativo das alternativas com respeito aos critérios. Os pesos relativos são obtidos através da aplicação de um processo de duas etapas. Primeiro, soma-se cada coluna e, então, se divide cada coluna entrada pela soma respectiva de cada coluna. A matriz que resulta do processo é chamada de matriz normalizada. (Equação 7)

$$A' = [a'_{ij}] \text{ onde } a'_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{k=1}^n a_{kj}} \text{ para } 1 \leq i \leq n, \text{ e } 1 \leq k \leq n \quad \text{[Equação 7]}$$

Depois, calcula-se o valor médio de cada linha da matriz normalizada para obter o peso relativo ou *eigenvector*, o qual é determinado pela Equação 8.

$$W = [w_k] \text{ onde } w_k = \frac{\sum_{j=1}^n a'_{ij}}{n} \text{ para } 1 \leq j \leq n, \text{ e } 1 \leq k \leq n \quad \text{[Equação 8]}$$

O *eigenvector* é o vetor de pesos a ser utilizado para acrescentar o grau de importância de cada objetivo ou restrição frente ao seu conjunto.

No SSD desenvolvido foram criados os seguintes parâmetros a serem usados

como pesos na função de decisão:

- Percentual da captação em relação a Vazão máxima disponível para Outorga - Esse parâmetro visa diferenciar aquelas entidades que retiram uma grande quantidade de água do rio daquelas que tiram pouco.
- Concentração de DBO - Parâmetro usado para beneficiar aquelas entidades que lançam efluentes já devidamente tratados evitando assim o uso da vazão de depuração utilizada pelo rio.
- Tempo médio de contrato - Esse parâmetro tende a diferenciar as entidades que recém adquiriram os contratos de Outorga daquelas que já estão com seus contratos perto de expirarem.

Esses parâmetros estão disponíveis ao Órgão Gestor em uma tela de configuração como a apresentada na Figura 4. Nessa, o gestor deve selecionar qual a relativa importância de cada um dos critérios na decisão da concessão de Outorga por múltiplos objetivos/restrições.

Figura 4 – Tela de configuração de preferência de objetivos/restrições para a geração do vetor de pesos

Pela prevalência relativa, os três pares de parâmetros são comparados. A vazão de retirada pode ter por exemplo uma importância relativa maior do que a concentração de DBO e uma menor do que o Tempo de contrato. A configuração desejada vai depender das características existentes na região da bacia. Como exemplo um Órgão Gestor de uma Bacia Hidrográfica pode querer incluir na análise preferencialmente aqueles usuários com maior tempo médio de contrato, mais próximos de uma eventual renovação e não incluir preferencialmente aqueles que recém efetivaram os seus contratos de outorga. Já em outra bacia o Órgão Gestor pode querer incluir os usuários com menos tempo de contrato de outorga, pois os mesmos podem ainda não estar utilizando o total de vazão retirada concedida. Por último, pode ser configurada a relação entre os três pares de parâmetros a partir de nove graus de importância (Tabela 1). O conjunto dessas configurações orienta o módulo de SSD na análise das alternativas geradas e classificá-las, permitindo ao gestor tomar a melhor decisão para o problema apresentado.

Assim que o módulo SSD é acionado, o sistema irá buscar uma lista com todos os usuários de outorga cadastrados a montante do trecho com problema e criará até 2000 grupos com até 5 usuários cada onde a soma da diminuição da vazão de cada um deles seja suficiente para manter a vazão ecológica do rio. Esses grupos depois serão analisados e categorizados seguindo as configurações pré-definidas (Figura 4) e as 10

melhores alternativas são apresentadas ao gestor para que ele possa decidir qual grupo será escolhido para possibilitar a inclusão do novo usuário.

A Figura 5 mostra o resultado de uma simulação realizada pelo sistema, mostrando os grupos formados que poderiam ter suas vazões diminuídas para a inclusão de uma nova entidade.

Deficit: 0,00590

Melhores Soluções Encontradas

Trecho	Código	Nome da	Captação	Lançamento	DBO	Vazão
Nº	Empresa	Empresa				Retirada
1						
1	15	Nossa Senhora do Livramento	0,00738	0,00574	16,00000	0,00230
0,27149						
1	128	LIV	0,00404	0,00384	0,14000	0,00070
1	131	LIV	0,00614	0,00583	0,14000	0,00110
6	136	VGD	0,01011	0,00961	0,14000	0,00180
2						
1	15	Nossa Senhora do Livramento	0,00738	0,00574	16,00000	0,00250
0,26668						
1	129	LIV	0,00151	0,00144	0,14000	0,00030
1	131	LIV	0,00614	0,00583	0,14000	0,00120
6	136	VGD	0,01011	0,00961	0,14000	0,00190
3						
1	15	Nossa Senhora do Livramento	0,00738	0,00574	16,00000	0,00250
0,24327						
1	126	LIV	0,00282	0,00268	0,14000	0,00050
1	128	LIV	0,00404	0,00384	0,14000	0,00080
1	129	LIV	0,00151	0,00144	0,14000	0,00030
6	136	VGD	0,01011	0,00961	0,14000	0,00190
4						
1	15	Nossa Senhora do Livramento	0,00738	0,00574	16,00000	0,00210
0,24262						
1	126	LIV	0,00282	0,00268	0,14000	0,00030
1	128	LIV	0,00404	0,00384	0,14000	0,00070
1	131	LIV	0,00614	0,00583	0,14000	0,00100
6	136	VGD	0,01011	0,00961	0,14000	0,00160
5						
1	15	Nossa Senhora	0,00738	0,00574	16,00000	0,00230
6						
1	15	Nossa Senhora	0,00738	0,00574	16,00000	0,00260

Figura 5 – Tela com o resultado de uma simulação mostrando as melhores alternativas de diminuição da vazão outorgada, possibilitando a inclusão de um novo usuário.

Nessa tela são expostas para cada grupo de usuários as seguintes informações:

- Índice com a posição desse grupo em relação aos demais;
- Trecho do rio na qual se encontra cada um dos usuários do grupo;
- Código do usuário no sistema;
- Nome do usuário;
- Vazão de captação (uso direto) de cada usuário, acordada no contrato de outorga;
- Vazão de lançamento de efluentes (uso indireto) de cada usuário, acordada no contrato de outorga;
- Quantidade de DBO lançado por cada usuário no grupo via efluentes
- Vazão sugerida de retirada para cada usuário desse grupo para contribuir para a solução do problema;
- Soma das vazões sugeridas de retirada de cada grupo.

Com essas informações o gestor pode escolher qualquer um dos grupos apresentados ao escolher o link situado no número referente ao grupo desejado. Efetuada a escolha, o sistema processa as alterações diminuindo as vazões de retirada em cada um dos usuários do grupo escolhido nos valores de retirada sugeridos pelo sistema e finaliza incluindo o novo usuário no sistema.

3. Conclusão

O uso do Sistema desenvolvido fornece aos gestores de recursos hídricos novas possibilidades na tomada de decisão na concessão de Outorga, problema que pode se

tornar altamente complexo em bacias com diversos usos concorrentes, impossibilitando uma análise objetivo da situação por técnicos nos órgãos gestores. Sendo baseado em modelos matemáticos e dados reais, decisões dos gestores na concessão se tornam reproduzíveis, aspecto relevante pelo fato das legislações nacionais e estaduais não fixar detalhadamente os critérios da Outorga e por poder produzir consequências legais na (não-)concessão dos direitos de uso. A implementação proposta possibilitará, por sua estrutura modular, futuramente adaptar o processo decisório para prioridades distintas de conservação em função das características das bacias em questão (urbano-industrial, rural etc.) e seus problemas específicos como p.ex. alta produção de sedimentos, baixa qualidade de água, excesso de captação para irrigação etc.

Referências

- Da Hora, A. F. (2001) “Metodologia para a outorga do uso de recursos hídricos com ênfase no caso de aproveitamento hídrico”, Tese de Doutorado. Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro – COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro.
- O’Hagan, Michael (1993) “A fuzzy decision maker”, Harcourt Brance & Cia.
- Bellman, R.E. and Zadeh, L.A. (1970). “Decision Making in a Fuzzy Environment”, *Management Science*, 17, 141-164.
- Yager, R.R. (1977). "Multiple Objective Decision-Making Using Fuzzy Sets," *Intl. J. Man-Machine Studies*, 9, 375-382.
- Saaty, T.L. (1977). "A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures," *J. Math. Psychology*, 15, 234-281
- Orofino, F. V. G. (1997) “Aplicação de um Sistema de Suporte Multicritério Saat For Windows – Na Gestão dos Resíduos Sólidos de Serviços de Saúde – Caso do Hospital Celso Ramos”. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina.
- Betencourt, PAULO R. B. (2000) “Desenvolvimento de um modelo de análise multicriterial para justificativa de investimentos em tecnologia da informação”. Dissertação de Mestrado em Administração na UFRGS.
- USGR. (2016) “The World's Water”. <http://water.usgs.gov/edu/earthwherewater.html>, February
- UNESCO (2016) “Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2016 – Relatório Executivo”. <http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002440/244040por.pdf>, February
- Oliveira, C. U. R. “Sistema de Suporte à Decisão Baseado em Lógica *fuzzy* para Outorga de Recursos Hídricos”. Cuiabá, 2009. 72p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso.

Segmentation of land use maps for precision agriculture

Wilian F. Costa¹, Michel J.M. Bieleveld¹,
Raphael G. Chinchilla¹, Antonio M. Saraiva¹

¹Escola Politécnica da USP - Av. Prof. Luciano Gualberto, travessa 3 no 380
CEP 05508-010 - São Paulo - SP, Brazil

wilianfc@gmail.com

Abstract. *We present a multilayer image segmenter adapted to be used for Precision Agriculture (PA). PA depends strongly on the application of information technologies to divide and group geographic areas based on land use, soil data, metrological data and agricultural resources for planning and implementation of activities to increase output by using optimal strategies for each segment. We implemented a modified Baatz algorithm in the statistical language R and speed sensitive code was implemented in C++. The code will be made publicly available under the GNU Lesser Public License. We show the merit of our approach at the hand of a landscape and discuss the obtained segments generated by our tool.*

1. Introduction

PA allows for the definition of optimal agricultural management with the use of decision support systems. This leads to: effective management of resources to increase farm profitability, responding to crop inter and intra field variability, and the reduction of environmental impact [Zhang et al. 2002]. An essential step in managing land use, and keeping the complexity manageable, is to divide land into smaller homogeneous regions with similar production factors [Saraiva 2003]. Unsupervised segmentation algorithms are used to generate these divisions. Typically these algorithms find their use in the segmentation of images to automatically extract all objects and regions of interest for a certain task. In this work one such algorithm, Baatz [Baatz and Schape 2000], is implemented and applied to geospatial multi-scale and multi-spectral production data segmentation. The resulting segments can then be used as part of a larger decision system to divide the land into manageable areas with similar characteristics, such as soil, vegetation and climate factors, that otherwise would be difficult to separate visually [Saraiva 2003, Costa 2016].

2. Materials and Methods

The segmentation algorithm was implemented in R, a computer language and environment used for statistical computing and popular in the scientific community [R Core Team 2014]. The R environment runs on all popular platforms and is extensible through new software modules called packages. Many such packages are readily available that deal with geospatial data on the CRAN Repository¹. For example, the *Raster* package that provides functions to load and save Geographic Information System (GIS) maps and data.

¹<https://cran.r-project.org>

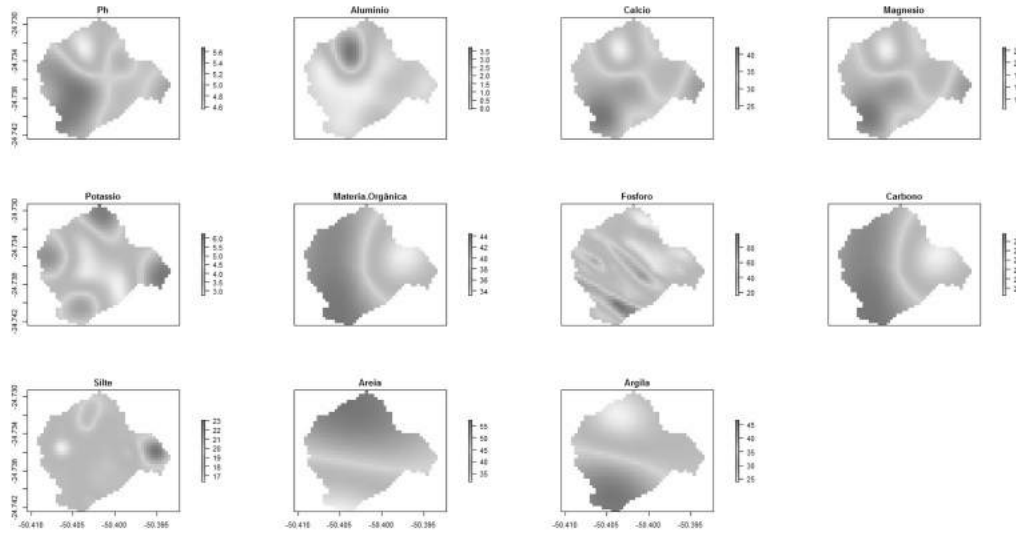


Figure 1. Input raster stack containing the environmental factors

The R language is an interpreted language and while many packages are solely written in R, many compute intensive packages also make use of C/C++ code. In our implementation we made use of the Rcpp API [Eddelbuettel and François 2011] to access, extend and modify seamlessly R objects using C++ for those function that require more time to execute than other parts of the algorithm.

3. Results

In Figure 1 typical land use data is shown and composed of eleven layers. Each map within the figure represents the distribution of a particular soil factor. The first layer represents the acidity of the soil, the following seven layer the concentration of several minerals, and the last three represent land composition information. These maps are generated by using agricultural data obtained and discussed in earlier work [Costa et al. 2013].

Figure 2 illustrates that our implementation separates the input data into meaningful segments, thus defining areas for optimal agricultural management. The figure shows the obtained segments in a two dimensional space defined by the two most dominant components obtained with Principle Component Analysis (PCA) after normalization. The loadings indicate a clear separation of the land in clay, sand and silt regions. We also see there is a region clearly defined with high potassium. The obtained segments are grouped by variables that without using a complex algorithm, such as the one implemented in this work, would be difficult to distinguish, for example the two clusters in the center top.

Figure 3 shows the result of the application of the algorithm on the input data and segmented according to the separation just described. The first map at the top left shows the segmented land area considering all the soil factor, whereas the remaining maps show how each layer by itself is segmented.

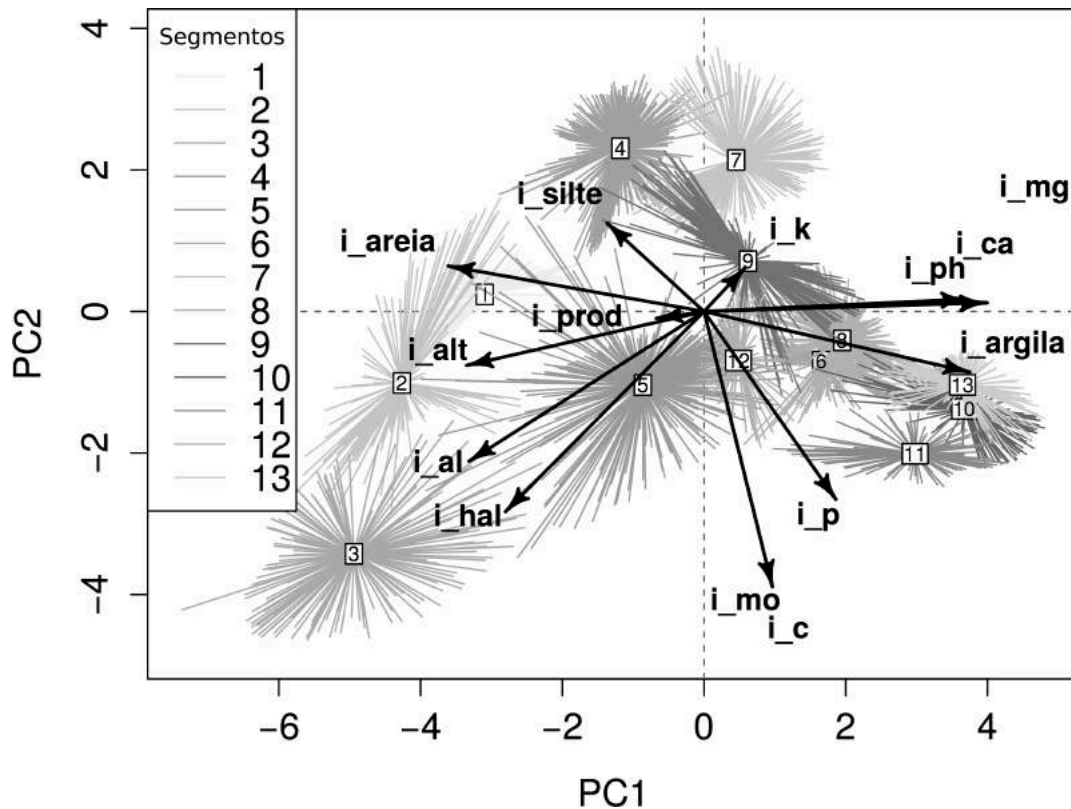


Figure 2. Correlations between the input data mapped onto first two principal components of PCA. The vectors represent loadings of the variables. The centroids of each group is identified and represents a segment.

4. Conclusion

Our adaptation and implementation of the Baatz algorithm made available through an R package is shown to be effective for the segmentation of geospatial data [Costa 2016]. Our test data has shown that the implementation is able to divide the virtual landscape defined by complex factors in regions with homogenous characteristics which has its applicability in the effective management of agricultural land use.

Acknowledgement

The authors are grateful to CAPES and NAP-Biocomp - University of Sao Paulo. The funders had no role in study design, data analysis, decision to publish, or preparation of the manuscript.

References

- Baatz, M. and Schape, A. (2000). Multiresolution segmentation: An optimization approach for high quality multi-scale image segmentation. In J. Strobl, T. B. and Griesbner, G., editors, *Angewandte Geographische Informations-Verarbeitung*, pages 12–23. Wichmann Verlag, Karlsruhe, Germany, xii edition.
- Costa, W. F. (2016). *Segmentação multiresolução variográfica ótima*. PhD thesis, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brazil.

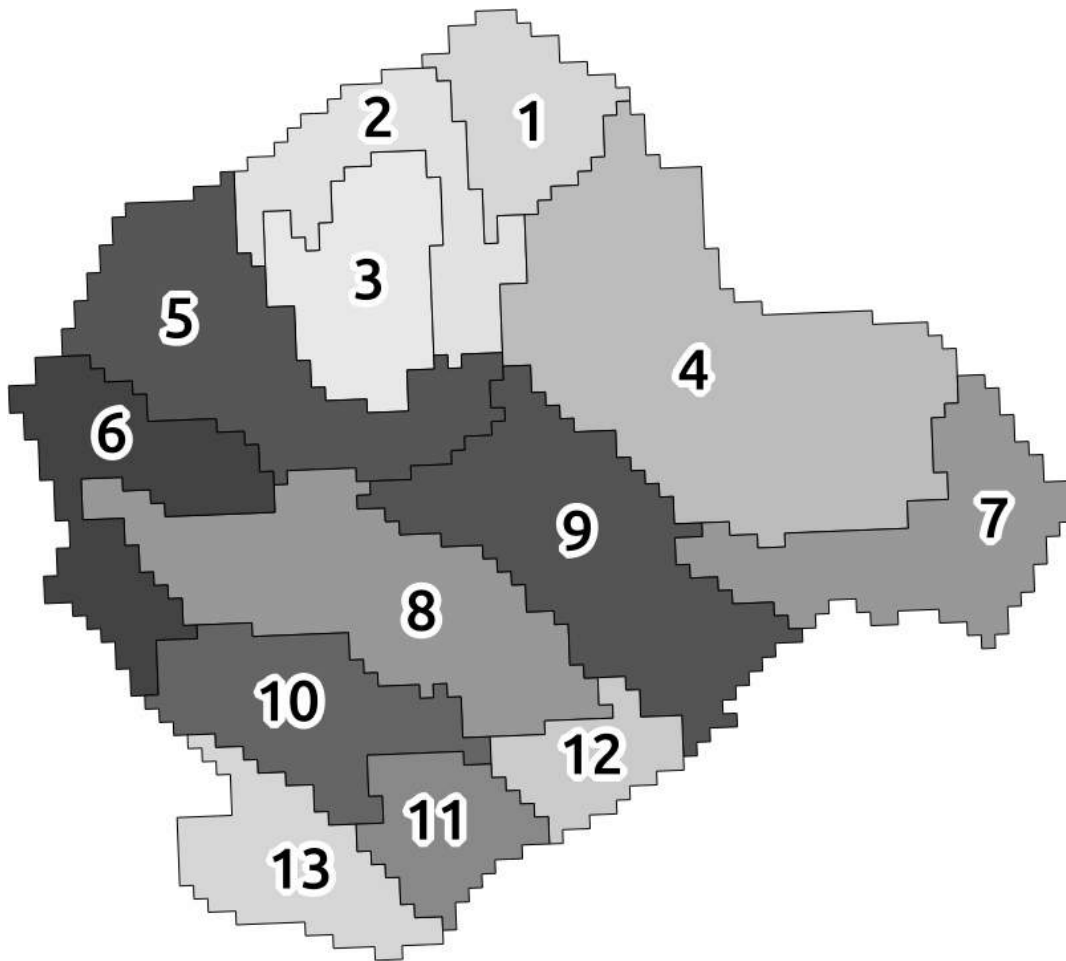


Figure 3. The result of the segmenter, the first image depicting the overall segmented result, the numbers indicating the centroids of Figure 2

- Costa, W. F., Saraiva, A. M., Veiga, A. K., Soares, F., and Quintanilha, J. A. (2013). Applying multiresolution segmentation algorithm to generate crop management zones based on interpolated layers.
- Eddelbuettel, D. and François, R. (2011). Rcpp: Seamless R and C++ integration. *Journal of Statistical Software*, 40(8):1–18.
- R Core Team (2014). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Saraiva, A. M. (2003). Tecnologia da informação na agricultura de precisão e biodiversidade: Estudos e proposta de utilização de web services para desenvolvimento e integração de sistemas. Tese de livre docência, Universidade de São Paulo.
- Zhang, N., Wang, M., and Wang, N. (2002). Precision agriculture - a worldwide overview. *Computers and Electronics in Agriculture*, 36(2 - 3):113 – 132.

Plataforma Web para acesso e disponibilização de dados climáticos

Angela Mazzonetto¹, Felipe Borella¹, Pablo Chitolina¹, Guilherme Tochetto¹,
Jonatas Casiraghi¹, Fábio Augusto Antunes de Oliveira¹,
Chou Sin Chan², Willingthon Pavan¹, Carlos Amaral Holbig¹,

¹Universidade de Passo Fundo (UPF)

BR 285, Km 292,7 Caixa Postal 611 – 99052-900 – Passo Fundo – RS – Brasil

²Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC)

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) – Cachoeira Paulista, SP – Brasil

angelamazzonettofw@gmail.com, chou.sinchan@cptec.inpe.br, holbig@upf.br

Abstract. *Weather and climate forecast are very important tools for decision making in several areas, for instance, in agriculture, hydrology and power generation. The combination of modern technologies and readily available environmental data provides a valuable mechanism to increase productivity and minimize climate risks. The subject of this meta-paper is the development of a toolkit to automate data requests, providing access and visualization of data generated by the weather forecast and climate models from CPTEC/INPE.*

Resumo. *A previsão do tempo e clima são ferramentas muito importantes para tomada de decisão em diversas áreas como, por exemplo, na agricultura, na hidrologia e na geração de energia. A combinação de tecnologias modernas e a disponibilização de dados meteorológicos fornecem um mecanismo para aumentar a produtividade e minimizar riscos relacionados ao clima. Neste artigo é descrito o desenvolvimento de uma plataforma para automatizar o processo de requisição, de disponibilização e de visualização de dados gerados pelos modelos de previsão de mudanças climáticas do CPTEC/INPE.*

1. Introdução

Os sistemas de informações geográficas (GIS) têm obtido destaque na comunidade de geociências, pelo significativo papel que representam nas ciências da terra. Uma variedade de ferramentas foram desenvolvidas para fornecimento e manipulação de grandes quantidades de dados (*Big Data*) [Hey and Trefethen 2005]. Existe uma crescente demanda por serviços, conteúdos e produtos diversificados, que atendem segmentos e necessidades cada vez mais específicas. Lidar com esse fluxo de informações constantes torna-se uma tarefa difícil para as empresas e instituições, que muitas vezes precisam tomar decisões rápidas baseadas em análises de dados.

Diversos modelos climáticos globais vem sendo utilizados para gerar grandes volumes de dados de projeções de mudanças climáticas, por meio de diferentes cenários. Entre eles está o modelo Eta implantado no CPTEC/INPE desde 1996. Os dados gerados pelo Modelo Eta são armazenados em arquivos binários no servidor do CPTEC/INPE. Entretanto, grande parte dos usuários que utilizam estes dados necessitam

destas informações em outros formatos, como de texto ou de planilhas eletrônicas, por exemplo. Entre os dados solicitados estão, principalmente, valores diários e mensais das variáveis bidimensionais (temperatura, umidade relativa, radiação solar, etc) disponibilizadas pelo modelo. Todo este processo, atualmente, é realizado de forma não automatizada, sendo necessário realizar ajustes nos programas de disponibilização dos dados de acordo com cada requisição realizada por cada usuário. Portanto, devido estes fatores, a criação de uma plataforma que tem como premissa automatizar o processo de disponibilização e visualização dos dados gerados pelo CPTEC/INPE é de extrema importância não só para agilizar o processo de requisição e disponibilização dos dados mas, também, possibilitar que mais usuários, dos mais diversos setores, possam ter um acesso fácil à estes dados de mudanças climáticas.

2. Dados climáticos e meteorológicos dos modelos de previsão

A principal ferramenta para estudos das mudanças climáticas são os modelos globais do sistema terrestre. Por outro lado, os impactos em diferentes setores de atividades são geralmente de caráter local. A resolução dos modelos globais, de cerca de 200×200 km, é considerada grosseira para estes estudos. Modelos regionais climáticos, com tamanhos de grade de cerca de 50 km a 20 km, buscam atender esta necessidade de detalhamento. Entretanto, esse tamanho de grade ainda é considerado grosseiro para a maioria dos estudos relacionados com os recursos hídricos, em particular com aqueles relacionados com a disponibilidade hídrica para abastecimento humano e para a segurança alimentar. Assim, a principal inovação desta plataforma é o emprego de vários cenários de mudanças climáticas em alta resolução espacial. Uma segunda inovação é o emprego do modelo em altíssima resolução, cerca de 5 km, em uma escala compatível com a tomada de decisões relacionados com o gerenciamento dos recursos hídricos, como é o caso dos mananciais de abastecimento afetados pelos conflitos no uso da água. O modelo Eta pode operar em modo não-hidrostático, enquanto que a maioria dos modelos climáticos simplificam em modo hidrostático.

O INPE, a partir de 1997, tem fornecido previsões numéricas de tempo com maior detalhamento para grande parte da América do Sul utilizando o modelo Eta. Desde 2002, o modelo passou a gerar previsões climáticas sazonais na resolução de 40 km sobre a região [Chou et al. 2005]. O modelo também foi utilizado para produzir estudos de mudanças climáticas [Pesquero et al. 2010, Chou et al. 2012, Marengo et al. 2012] e apoiar na elaboração da Segunda Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima¹. Novos cenários de emissão foram propostos pelo IPCC [IPCC 2013] e geraram novas projeções de mudanças climáticas globais. Projeções dos modelos HadGEM2-ES e MIROC5, em cenários de emissão RCP4.5 e RCP8.5, foram regionalizadas pelo modelo Eta do INPE [Chou et al. 2014]. RCP4.5 e RCP8.5 se referem aos cenários de emissão de gases do efeito estufa e derivam do inglês “*Representative Concentration Pathway*”, correspondendo às forçantes radiativas de 4.5 Wm^{-2} e 8.5 Wm^{-2} , respectivamente. Tais simulações regionalizadas apoiaram a elaboração da Terceira Comunicação Nacional² e o estudo denominado “Brasil 2040: cenários e alternativas de adaptação à mudança do clima” da Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República.

¹Disponível em http://www.mct.gov.br/upd_blob/0215/215070.pdf.

²Disponível em <https://goo.gl/Qe1g2y>

3. Desenvolvimento da plataforma web

O desenvolvimento da plataforma web visa automatizar o processo de filtragem dos dados disponibilizados pelo CPTEC/INPE, integrando tecnologias de acesso aos dados e ao armazenamento dos mesmos. A plataforma tem como objetivo fornecer facilidade e respostas rápidas para o usuário e, ao mesmo tempo, eliminar a criação de *scripts* manuais feitos pelos técnicos do INPE, diminuindo a espera dos usuários pelos dados solicitados e liberando o técnico para desempenhar outras atividades. Portanto, para o desenvolvimento da plataforma foram necessários a escolha de ferramentas que possibilitam o armazenamento, o acesso e o processamento dos dados.

Os dados gerados pelo CPTEC/INPE possuem um conjunto de informações meteorológicas, climatológicas e geográficas. Sendo assim, o PostGIS mostrou ser uma ferramenta adequada para o armazenamento e para facilitar a manipulação dos dados. O PostGIS é uma extensão espacial gratuita e de código fonte livre para o PostgreSQL. Ele suporta dados geográficos e permite o acesso aos dados através de SQL (*Structured Query Language*), e possui funções preparadas que auxiliam na manipulação dos dados[Zhang and Yi 2010].

A previsão meteorológica é gerada duas vezes ao dia, abrangendo o período de 11 dias. Esta previsão que abrange a América do Sul, é organizada em forma de grade, possuindo 75351 pontos. Na proposta inicial da plataforma, para cada ponto, serão armazenados dados referentes à cinco variáveis: vento, precipitação, umidade relativa, temperatura e radiação solar. Já para os dados de previsões climáticas foram calculadas 38 variáveis para um período histórico e futuro entre os anos de 1960 à 2100. Esses dados são gerados em formato binário disponibilizados manualmente. Para armazenamento no PostGIS estes dados serão convertidos em formato TIFF (*Tagged Image File Format*).

A visualização dos dados é feita por meio de uma aplicação web, através de mapas, gráficos e tabelas e poderá ser acessada, também, por um aplicativo para *smartphone*. Por meio de uma API (*Application Programming Interface*) é possível acessar a previsão climática com determinadas frequências (horária, diária ou mensal). Estes dados poderão ser requisitados e gerados em um formato específico, de acordo com a necessidade do usuário, como, por exemplo, em shapefile, tiff, netcdf, txt, binário, json e geojson.

A plataforma web e a API foram desenvolvidas usando Node.js, AngularJS e PostgreSQL/PostGIS. O desenvolvimento da aplicação segue os padrões de arquitetura de software MVC (*Model-View-Controller*). Os dados são obtidos por solicitações HTTP para uma API RESTful específica. JSON (*JavaScript Object Notation*) é o formato de troca de dados utilizado para a comunicação entre a aplicação, os dispositivos móveis e a API REST com o servidor. Uma representação do fluxo da API é apresentada na Figura 1

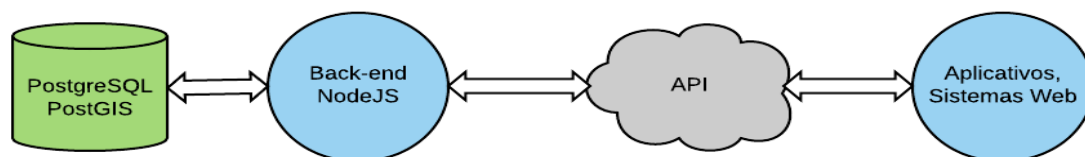


Figura 1. Fluxo da API de disponibilização de dados para os clientes (aplicativos, sistemas web, terceiros).

4. Conclusões

A plataforma web aparece como uma importante ferramenta, capaz de automatizar o processo de requisição, de disponibilização e de visualização dos dados de previsão mudanças climáticas gerados pelo CPTEC/INPE, sendo capaz de filtrar os dados de acordo com os parâmetros informados e gerar o resultado no formato desejado pelos usuários de maneira intuitiva. A plataforma facilitará a disponibilização pelo CPTEC/INPE dos dados de previsão, fazendo com que eles possam ser utilizados por usuários dos mais diversos setores, auxiliando nos desafios relacionados à segurança energética e alimentar. Outra facilidade proporcionada pela plataforma é uma melhor apresentação dos dados disponibilizados, melhorando o seu entendimento e sua visualização.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq pelo apoio recebido por meio do projeto “Projeções das mudanças climáticas para estudos de impactos sobre a disponibilidade hídrica no país com implicações na segurança alimentar e energética” (processo número 446197/2015-7) e da bolsa DTI-B (processo 381489/2016-7).

Referências

- Chou, S. C., Bustamante, J. F., and Gomes, J. L. (2005). Evaluation of Eta model seasonal precipitation forecasts over south america, nonlin. *Processes Geophys.*, pages 537–555.
- Chou, S. C., Lyra, A. A., Mourão, C., Dereczynski, C., Pilotto, I., and Gomes, J. L. (2014). Assessment of climate change over south america under RCP 4.5 and 8.5 downscaling scenarios. *American Journal of Climate Change*, pages 512–527.
- Chou, S. C., Marengo, J. A., Lyra, A., Sueiro, G., Pesquero, J., and Alves, L. M. (2012). Downscaling of South America present climate driven by 4-member HadCM3 runs. *Climate Dynamics*, pages 635–653.
- Hey, T. and Trefethen, A. E. (2005). Cyberinfrastructure for e-science. *Science*, 308(5723):817–821.
- IPCC (2013). Intergovernmental Panel on Climate Change. Disponível em <http://www.ipcc.ch/>. Acesso em: 10 Fev. 2017.
- Marengo, J. A., Chou, S. C., Kay, G., Alves, L. M., Pesquero, J. F., and Soares, W. R. (2012). Development of regional future climate change scenarios in south america using the Eta CPTEC/HadCM3 climate change projections: climatology and regional analyses for the amazon, São Francisco and the Paraná river basins. *Climate Dynamics*, pages 1829–1848.
- Pesquero, J. F., Chou, S. C., Nobre, C. A., and Marengo, J. A. (2010). Climate downscaling over South America for 1961- 1970 using the Eta model. *Theoretical and Applied Climatology*, pages 75–93.
- Zhang, L. and Yi, J. (2010). Management methods of spatial data based on PostGIS. In *Circuits, Communications and System (PACCS), 2010 Second Pacific-Asia Conference on*, volume 1, pages 410–413.

Aplicação de RNAs para Predição de Índice de Viscosidade: uma avaliação da qualidade de biodiesel

Raquel Machado de Sousa¹, Sofiane Labidi², Jailson Nunes Leocadio¹

¹ Laboratório de Automação Agrícola (LAA) – Universidade de São Paulo (USP)
São Paulo – SP – Brasil

² Laboratório de Sistemas Inteligentes (LSI) – Universidade Federal do Maranhão
São Luís – MA – Brasil

{rachel.msousanet, jailsonleocadio}@gmail.com, labidi@dee.ufma.br

Abstract. *To measure the biodiesel quality in Brazil, several parameters are established for this purpose. Some of them, such as viscosity, iodine number, cetane number, density are important because they characterize important functions of how biodiesel will react in the engines. In this study, Artificial Neural Networks (ANNs) were used to predict the viscosity value of biodiesel. For this purpose, 13 compounds of fatty acid esters were used as input to the ANNs, with several feedforward convergence algorithms having viscosity indexes as output from the networks.*

Resumo. *Para mensurar a qualidade do biodiesel no Brasil, vários parâmetros são estabelecidos. Alguns deles como viscosidade, índice de iodo, número de cetano, densidade são importantes pois caracterizam funções importantes de como o biodiesel irá reagir no motores. Neste estudo, foram usadas Redes Neurais Artificiais (RNAs) para prever o índice de viscosidade do biodiesel. Para este fim foram utilizadas 13 compostos de ésteres de ácidos graxos como entrada para as RNAs, com vários algoritmos de convergência do tipo feedforward tendo como saída das redes os índices de viscosidade.*

1. Introdução

A corrida mundial por alternativas limpas de energia, ou seja, aquelas geradas a partir de recursos renováveis e que não agravam os problemas de emissão de gases poluentes na atmosfera, fez com que vários países passassem a buscar alternativas e a realizar pesquisas direcionadas ao consumo de combustíveis de maneira sustentável. O biodiesel, por ser uma fonte energética oriunda de biomassa, é capaz de contribuir, com sustentabilidade, para suprir essa demanda mundial.

O biodiesel apresenta diversas propriedades que estão relacionadas aos contaminantes da matéria-prima, às condições de armazenamento e, principalmente, às estruturas moleculares que o compõem, que são utilizadas para identificar a qualidade dele. Para assegurar uma combustão eficiente e qualidade nas emissões, bem como a segurança no transporte e manuseio do biodiesel, a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) instituiu, por meio da Resolução nº 14 de 2012 (atualizada para nº 45 em 2014), parâmetros de qualidade e especificações para o biocombustível.

As propriedades inerentes à composição, como número de cetano, densidade, viscosidade, número de iodo, entre outros, estão diretamente relacionadas ao percentual de

cada éster alquílico que compõe a matéria-prima (óleo vegetal ou gordura animal). Estudos sobre a influência da composição química do biodiesel nas suas propriedades de qualidade têm sido demonstrada por meio de pesquisas que ressaltam que as propriedades dos triglicerídios e do combustível biodiesel são determinadas pelas quantidades de cada ácido graxo que se encontram presentes em suas moléculas [Ramos et al. 2009].

Diferentes técnicas de previsão de propriedades de qualidade como índice de iodo, viscosidade cinemática, densidade, número de cetano, entre outros, são focos de análises. Algumas abordagens usam modelos empíricos e estatísticos [Allen et al. 1999, Ramírez-Verduzco et al. 2012, García et al. 2013, Chavarria-Hernandez and Pacheco-Catalán 2014, Freitas et al. 2014], além de técnicas que utilizam espectroscopia de infravermelho próximo (NIR) para determinar as propriedades do biodiesel [Baptista et al. 2008, Adewale et al. 2014]. As Redes Neurais Artificiais (RNAs), por sua vez, têm sido aplicadas em várias áreas da engenharia e domínios. Em relação às pesquisas relacionadas com controle de qualidade de combustíveis e biocombustíveis, essas redes têm sido empregadas nos mais variados contextos [Çay et al. 2013, Sharon et al. 2012, Piloto-Rodríguez et al. 2013, Saldana et al. 2012, Rezaee et al. 2014].

A previsão da viscosidade cinemática tem recebido atenção considerável na literatura, pois é uma das propriedades mais importantes que afetam a utilização do biodiesel como combustível [Allen et al. 1999]. Tanto a viscosidade do óleo e seu éster alquílico derivado podem ser utilizados para monitorar a qualidade do biodiesel [Allen et al. 1999]. É uma propriedade que possui relação direta com o processo de injeção dos motores, a viscosidade do biodiesel aumenta com o comprimento da cadeia carbônica e com o grau de saturação [Knothe et al. 2010]. A norma EN 14214 (EN ISO 3104) estabelece um intervalo aceitável de 3,5 a 5,0 mm²/s, ASTM D6751 (D 445) permite um intervalo de 1,9 a 6,0 mm²/s e a ANP com limite aceitável de 3,0 a 6,0 mm²/s. A ANP além dos métodos analíticos citados recomenda também o método ABNT NBR 10441 [Dantas 2006].

A pesquisa de [Jahirul et al. 2013] utilizou redes neurais artificiais para predição da viscosidade cinemática a partir da influência da temperatura. O trabalho utilizou 204 amostras com 23 entradas incluindo temperatura e composição química do biodiesel e a propriedade da viscosidade cinemática como saída. As RNAs possuíam uma camada oculta variando de 23 a 46 neurônios e as redes foram treinadas somente com o algoritmo Levenberg Marquardt. A melhor performance obtida foi com a topologia (23:28:1) com índice de determinação (R) de 0,97; por outro lado, a acurácia de predição do modelo pode ser melhorada por meio do aumento do intervalo de treinamentos e conjunto de dados.

[Meng et al. 2014] também conduziu seu trabalho com predição da viscosidade cinemática. Nesse estudo, uma RNA foi desenvolvida para prever a viscosidade cinemática do biodiesel à temperatura de 313 K, com os dados experimentais de 105 amostras de biodiesel recolhidas a partir da literatura. O método utilizou na RNA apenas as frações de massa de 19 ésteres metílicos de ácidos graxos como entradas. Dois métodos previamente descritos baseados em equações empíricas foram comparados com os resultados da RNA. Os resultados indicaram que o método com RNA proposto é capaz de prever a viscosidade cinemática a 313 K do biodiesel com erro quadrático médio (MSE) de 0.0099. No geral, o método com RNA demonstrou uma melhor precisão para a previsão da viscosidade

cinemática biodiesel com maior coeficiente de correlação de 0.9774.

Este trabalho quer contribuir com os estudos de RNAs para predição dos índices de viscosidade por meio do treinamento de redes *feedforward*, pela avaliação de diferentes algoritmos de convergência e obtenção de um índice de correlação de predição que contribui para a utilização de RNAs para predição dos parâmetros de qualidade de biodiesel. O trabalho está organizado da seguinte forma: Na seção 2 é apresentado os dados experimentais utilizados. Na seção 3 é descrita a metodologia de desenvolvimento das RNAs. Na seção 4 é mostrado os resultados e discussões e, por fim, a seção 5 traz as considerações finais sobre a pesquisa.

2. Dados Experimentais

Neste estudo, os dados utilizados para treinamento, validação e teste das redes foram reunidos da literatura [Santos 2008, Dantas 2006, Candeia 2008, Padhi 2010, Sanford et al. 2009, Moser 2009, Hoekman et al. 2012, Kivevele et al. 2011, Nogueira 2010] e outros cedidos pelo Laboratório de Pesquisa em Química Analítica (LPQA) da Universidade Federal do Maranhão (UFMA). Esses dados são referentes à composição e as suas análises físico-químicas de amostras de biodiesel. Um conjunto de 98 amostras com 13 ésteres de entrada e saída representada pela viscosidade.

Pode-se verificar pela Figura 1 a distribuição de cada tipo de ésteres de ácidos graxos nas amostras de biodiesel coletadas e a predominância dos ésteres, como o ácido oleico (C18:1), ácido linoleico (C18:2), ácido laurico (C12:0) e ácido palmítico (C16:0). A descrição para a composição dos esterres neste trabalho (XX:X) é sobre a informação do número de carbonos (XX) e o número da direita representa o número de insaturações da molécula. As amostras de biodiesel são derivadas de vários tipos de óleos e oleoginosas, entre elas, biodiesel metílico e etílico de soja, dendê, linhaça, colza, pinhão manso, moringa, babaçu, gordura vegetal de aves e algas; as diversas cores na figura 1 representam os diversos tipos citados.

3. Metodologia de Desenvolvimento de RNAs

A construção de uma topologia de RNA considerada mais apropriada para resolver um problema específico é usualmente efetuada de forma empírica, pois tal dimensionamento depende, dentre outros fatores, do algoritmo de aprendizagem utilizado, da forma como as matrizes de pesos foram iniciadas, da complexidade do problema a ser mapeado, da disposição espacial das amostras e da qualidade do conjunto de treinamento disponível [Da Silva et al. 2010].

Em termos práticos, no processo de construção de RNAs é possível identificar duas fases principais: fase de treinamento e fase de operação. Cada fase possui as seguintes atividades.

- Fase de treinamento:
 - Selecionar padrões de treinamento e teste;
 - Pré-processar padrões(normalizar os dados);
 - Definir topologias candidatas;
 - Treinar topologias candidatas;
 - Escolher melhor topologia;

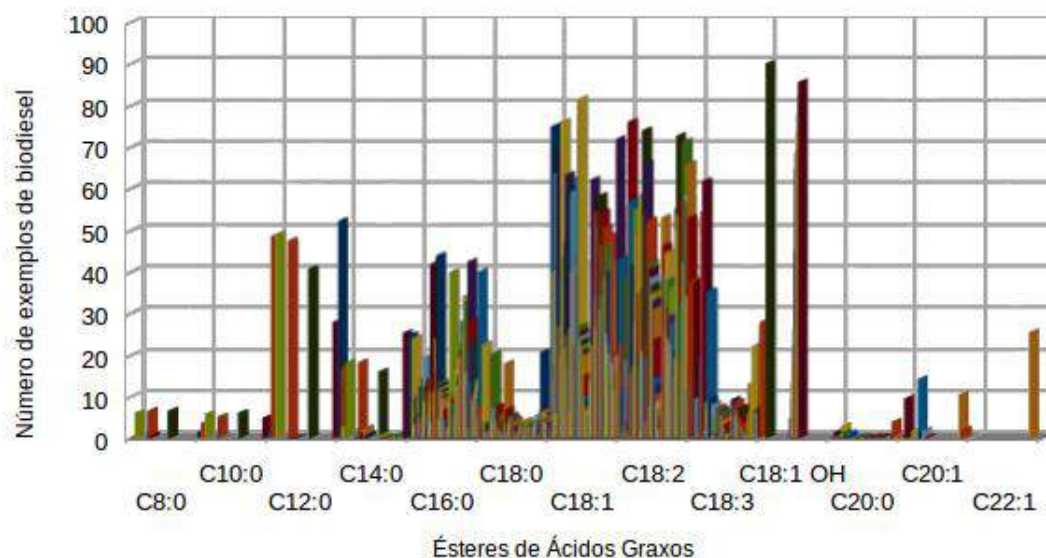


Figura 1. Quantidade de ésteres predominantes nas amostras de biodiesel

- Fase de operação:
 - Apresentar padrões de entrada;
 - Pré-processar padrões (normalizar dados);
 - Aplicar padrões nas entradas da rede treinada;
 - Obter resultados das saídas da rede treinada;
 - Pós-processar resultados (desnormalizar dados);

As RNAs usadas neste estudo foram do tipo *feedforward backpropagation*, que são uma das mais populares em vários domínios e baseadas no aprendizado supervisionado [Meng et al. 2014]. As redes foram configuradas com uma e duas camadas escondidas, com números de neurônios variando de 2 a 25 em cada camada. Vários algoritmos podem ser utilizados para otimizar arquiteturas de redes, destes foram selecionados 7 para treinamento, validação e teste: *backpropagation* padrão (gradiente descendente), *backpropagation* com *momentum* e taxa de aprendizado, BFGS quasi-newton, gradiente conjugado escalonado, *resilient propagation*, *one step secante* e Levenberg-Marquardt.

Os algoritmos selecionados foram divididos em duas categorias de estratégias de treinamento: métodos de primeira e de segunda ordem. Os métodos de primeira ordem são aqueles onde somente o gradiente local determina a direção da minimização do erro (gradiente descendente). Já os métodos de segunda ordem são considerados mais eficientes para fazer o treinamento de redes do tipo múltiplas camadas. Esses algoritmos recorrem a um rigor matemático baseado em modelos bem definidos de otimização não-linear não estendida, e não apresentam assim um vínculo natural com a inspiração biológica proposta inicialmente para RNAs. Podemos citar o método de Newton, que pode ser considerado como o método local básico que usa informações de segunda ordem, sua aplicação requer o cálculo da matriz de Hessian [Silva 1998].

Foram selecionadas também duas funções de ativação: função logística e função tangente hiperbólica. Pode-se visualizar na Tabela 1 a descrição dos principais parâmetros

configurados.

Tabela 1. Configuração das topologias de redes simuladas.

Parâmetros de treinamento	Valor
Algoritmos	Backpropagation padrão Backpropagation com <i>momentum</i> e taxa de aprendizagem BFGS Quase-Newton Levenberg-Marquardt Resilient-propagation One-Step-Secant Gradiente Conjugado Escalonado
Função de ativação	Função tansig Função logsig
Número de camadas ocultas	1 e 2
Função de desempenho	MSE
Critério de generalização	Validação cruzada em <i>k</i> -partições e parada antecipada
Valor máximo de verificações de parada antecipada	6, 10, 15, 20 e 25
Número máximo de épocas	10000
Taxa de aprendizagem	0.01
Número de neurônios por camada	2 - 25

Ao todo, 576 combinações de redes para cada algoritmo de treinamento foram testadas. Os dez melhores modelos de cada algoritmo foram salvos por meio do método de validação cruzada (*k-fold*) [Kohavi et al. 1995]. Além do critério de validação cruzada com $k = 11$ para escolha da melhor rede entre as candidatas, a técnica de treinamento com parada antecipada foi usada afim de detectar *overfitting* durante a fase de treinamento da rede.

A definição da quantidade de verificações de erros para parada antecipada foi obtida mediante testes das redes, com os seguintes valores de erros: 6, 10, 15, 20 e 25. O cálculo do erro usado para mensurar o desempenho da rede foi o Erro Médio Quadrático ou *Mean Squared Error* (MSE), que interpreta a diferença entre o valor produzido pela rede, indicado por \hat{y}_i , e o valor real, y_i [Meng et al. 2014]:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2 \quad (1)$$

Desse modo, 10 *k*-partes foram usadas para treinamento e validação; e a partição $k=11$ usada para teste. As entradas e saídas de dados para treinamento, validação e teste foram pré-processadas entre -1 e 1. A Regressão Linear (*Linear Regression - R*) e a Raiz Quadrada Média do Erro (*Root Mean Square Error - RMSE*) foram usadas para análise de desempenho. Os valores de R e RMSE são uma indicação de correlação entre as saídas preditas e as saídas reais da rede.

$$R = \alpha + \beta X_i + \epsilon_i \quad (2)$$

$$RMSE = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2}}{n} \quad (3)$$

Ainda em relação aos critérios de configuração das topologias de rede, os pesos da

rede foram iniciados aleatoriamente, foi definido um limite de 10000 mil épocas (quantidade de ciclos) de treinamento para cada topologia e a taxa de aprendizagem no valor de 0,01. No final das simulações as 10 melhores redes foram salvas.

4. Resultados e Discussões

Neste estudo foram utilizadas 98 amostras de ésteres de ácidos graxos para predição de viscosidade cinemática. Foram desenvolvidas e testadas 576 combinações para cada algoritmo para se obter as melhores topologias candidatas para predição de propriedades de qualidade do biodiesel. Os testes foram executados com a ferramenta *Matlab Version 2013b Neural Networks Toolbox*.

4.1. Considerações sobre o critério de parada antecipada

O uso da validação cruzada com parada antecipada é uma importante etapa para evitar *overfitting*. Assim, a definição do número de verificações de erro é um ponto essencial e crítico no treinamento da rede. O Levenberg-Marquardt foi o algoritmo de convergência usado para teste dos valores de erros, com duas camadas ocultas e função de ativação tangente hiperbólica para averiguar qual valor produzia melhor performance na predição da viscosidade. As redes foram treinadas com separação de dados por amostra aleatória e por k-partições. Os resultados dos coeficientes de correlação obtidos das simulações para escolha do valor de parada antecipada são reportados na Tabela 2.

Tabela 2. Resultados dos testes para escolha do valor de parada antecipada para viscosidade.

Configuração da Rede	Valor de parada antecipada	Treinamento - R	Validação - R	Teste - R	Separação dos dados
12-4	6	0.99	0.88	0.97	Aleatória
5-10	6	0.99	0.86	0.97	k-partições
11-5	10	0.99	0.99	0.96	Aleatória
5-3	10	0.98	0.99	0.99	k-partições
4-10	15	0.99	0.98	0.70	Aleatória
8-12	15	0.99	0.99	0.80	k-partições
3-18	20	0.99	0.99	0.83	Aleatória
4-5	20	0.99	0.99	0.45	k-partições
13-2	25	0.98	0.99	0.83	Aleatória
6-7	25	0.99	0.99	0.73	k-partições

Dos resultados obtidos pode-se aferir que valores de parada antecipada muito baixos ou valores muito altos não permitem que a rede aprenda o suficiente para generalizar bem os dados de treinamento, validação e teste; assim, classificam incorretamente novos dados.

4.2. Resultados da viscosidade cinemática

A viscosidade é uma importante medida da resistência da vazão de um líquido associada à fricção ou atrito interno de uma parte do fluido que escoa sobre a outra, ocasionando formação de depósitos no motor. Quanto maior a viscosidade maior é a tendência do combustível causar problemas. Esta propriedade pode ser determinada por metodologias padronizadas como ASTM D445 ou a ISO 3104. Por sua vez, a análise da diferença da viscosidade entre o óleo de origem e o seu derivado aquiléster pode ser utilizada para monitorar o biodiesel [Knothe et al. 2010].

Pode-se inferir dos resultados obtidos de predição de viscosidade com redes de uma camada que o algoritmo Levenberg-Marquardt obteve o melhor coeficiente de

correlação para rede com 8 neurônios na camada oculta. A regressão chegou a valores de 0,99 tanto para treinamento, validação e teste. O segundo melhor desempenho foi com o algoritmo BFGS que conseguiu generalizar com coeficientes de correlação de 0,99 para treinamento, 0,99 para validação e 0,96 para teste, que pode ser observado na Tabela 3. Além dos valores de regressão observados, o RMSE obtido dos algoritmos de treinamento testados ficaram abaixo de 1.

Dos resultados obtidos de previsão de viscosidade com duas camadas, observou-se que praticamente todos os algoritmos apresentaram um bom desempenho para generalização de dados novos. Exceto pelos algoritmos BFGS e *resilient-propagation* que obtiveram baixos desempenhos na fase de teste da rede, o que pode significar um *overfitting* do treinamento, em vista da quantidade de neurônios nas camadas ocultas, apesar da validação cruzada.

Pode-se comparar também o desempenho do *backpropagation* padrão, *backpropagation* com *momentum* e o Levenberg-Marquardt. Os três obtiveram coeficientes de correlação de 0,99 para treinamento, validação e teste da rede. Porém o que obteve menor número de neurônios foi o Levenberg-Marquardt com uma arquitetura 5-6, ou seja, 5 neurônios da primeira camada oculta e 6 neurônios na segunda camada oculta. Enquanto que o *backpropagation* padrão e com *momentum* precisaram de um número superior de neurônios, com arquiteturas de 22-9 e 20-8, respectivamente, para generalizar bem com esses coeficientes.

A Tabela 4 mostra todos os coeficientes obtidos para cada algoritmo na predição da viscosidade com duas camadas. Trabalhos relatados [Jahirul et al. 2013, Meng et al. 2014, Saldana et al. 2012] já demonstraram a habilidade do algoritmo Levenberg-Marquardt de predizer a propriedade viscosidade cinemática por meio de RNAs. Neste estudo, confirma-se essa habilidade também para a viscosidade, porém enquanto que alguns trabalhos relacionados chegaram a apenas 0.97 na predição dessas propriedades, aqui obtive-se índices de 0.99 de predição.

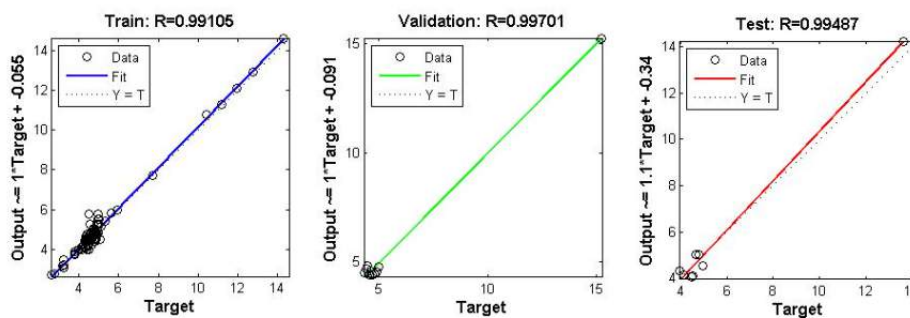


Figura 2. Coeficiente de correlação da viscosidade para Levenberg-Marquardt com uma camada

É preciso considerar também que os resultados obtidos para viscosidade realizados com uma camada oculta já são considerados suficientes de acordo com os testes. Esses resultados obtidos de 0.99 de predição, tanto para validação e teste do Levenberg-Marquardt, podem ser observados na Figura2. Isso porque a finalidade do treinamento e técnicas de escolha de melhor topologia de rede, é encontrar a arquitetura que ofereça o

melhor desempenho com menor custo computacional, ou seja, com menor quantidade de neurônios.

Tabela 3. Coeficientes de predição para viscosidade com redes de uma camada oculta.

Configuração da Rede	Algoritmos de Treinamento	Função de Ativação	Treinamento R	RMSE	Validação R	RMSE	Teste R	RMSE
13	Backpropagation padrão	logsig	0.98	0.33	0.99	0.44	0.94	0.35
20	Backpropagation com <i>momentum</i> e taxa de aprendizagem	logsig	0.98	0.4305	0.96	0.2979	0.3332	0.6893
8	BFGS Quase-Newton	logsig	0.99	0.2791	0.99	0.3495	0.96	0.6685
9	Gradiente Conjugado Escalonado	logsig	0.99	0.33	0.77	0.4405	0.97	0.1911
22	Resilient-propagation	logsig	0.99	0.3186	0.41	0.5762	0.99	0.4966
17	One-Step-Secant	logsig	0.98	0.3895	0.97	0.1785	0.96	0.5556
8	Levenberg-Marquardt	logsig	0.99	0.276	0.99	0.2772	0.99	0.3803

Tabela 4. Coeficientes de predição para viscosidade com redes duas camadas ocultas.

Configuração da Rede	Algoritmos de Treinamento	Função de Ativação	Treinamento R	RMSE	Validação R	RMSE	Teste R	RMSE
22-9	Backpropagation padrão	logsig	0.98	0.3388	0.99	0.3721	0.99	0.2694
20-8	Backpropagation com <i>momentum</i> e taxa de aprendizagem	tansig	0.99	0.3159	0.99	0.5098	0.99	0.108
11-12	BFGS Quase-Newton	tansig	0.97	0.4619	0.99	0.2158	0.63	0.4493
18-13	Gradiente Conjugado Escalonado	tansig	0.99	0.3063	0.96	0.3698	0.98	0.4916
21-4	Resilient-propagation	logsig	0.98	0.316	0.99	0.418	0.32	0.3046
10-13	One-Step-Secant	logsig	0.98	0.342	0.94	0.2555	0.98	0.4765
5-6	Levenberg-Marquardt	tansig	0.99	0.1785	0.99	0.2252	0.99	0.418

5. Conclusão

Da avaliação desses algoritmos, pode-se perceber que as RNAs são uma boa ferramenta para predição de parâmetros de qualidade do biodiesel. Os resultados demonstraram índices de correlação das melhores arquiteturas de redes para predição da viscosidade com índice de correlação de 0.99 tanto para treinamento, validação e teste.

Desse modo, considera-se que com a avaliação dos algoritmos é possível verificar a tendência da qualidade do biodiesel a partir de suas propriedades físico-químicas e assim reduzir tempo e custos na indústria de biocombustíveis, tendo em vista que alguns métodos de análises de biodiesel podem ser longos e complexos.

Referências

- Adewale, P., Mba, O., Dumont, M.-J., Ngadi, M., and Cocciardi, R. (2014). Determination of the iodine value and the free fatty acid content of waste animal fat blends using FT-NIR. *Vibrational Spectroscopy*, 72(0):72–78.
- Allen, C., Watts, K., Ackman, R., and Pegg, M. (1999). Predicting the viscosity of biodiesel fuels from their fatty acid ester composition. *Fuel*, 78(11):1319–1326.
- Baptista, P., Felizardo, P., Menezes, J. C., and Neiva Correia, M. J. (2008). Multivariate near infrared spectroscopy models for predicting the iodine value, CFPP, kinematic

- viscosity at 40 degrees C and density at 15 degrees C of biodiesel. *Talanta*, 77(1):144–51.
- Candeia, R. A. (2008). *Soybean Biodiesel: Synthesis, Degradation and Binary Mixtures*. PhD thesis, Doctoral dissertation, D. Sc. Thesis. Federal University of Paraíba. Brazil. Pag. 138.
- Çay, Y., Korkmaz, I., Çiçek, A., and Kara, F. (2013). Prediction of engine performance and exhaust emissions for gasoline and methanol using artificial neural network. *Energy*, 50:177–186.
- Chavarria-Hernandez, J. C. and Pacheco-Catalán, D. E. (2014). Predicting the kinematic viscosity of {FAMES} and biodiesel: Empirical models. *Fuel*, 124(0):212 – 220.
- Da Silva, I. N., Spatti, D. H., and Flauzino, R. A. (2010). *Redes Neurais Artificiais para Engenharia e Ciências Aplicadas: curso prático*. Artliber.
- Dantas, M. B. (2006). *Biodiesel blends: flow properties, thermal and oxidative stability during storage and monitoring*. PhD thesis, Doctoral dissertation, D. Sc. Thesis. Federal University of Paraíba. Brasil. Pag. 138.
- Freitas, S. V., Segovia, J. J., Carmen Martín, M., Zambrano, J., Oliveira, M. B., Lima, A. S., and a.P. Coutinho, J. a. (2014). Measurement and prediction of high-pressure viscosities of biodiesel fuels. *Fuel*, 122:223–228.
- García, M., Alba, J. J., Gonzalo, A., Sánchez, J. L., and Arauzo, J. (2013). Density of alkyl esters and its mixtures: A comparison and improvement of predictive models. *Fuel*, 103:232–238.
- Hoekman, S. K., Broch, A., Robbins, C., Ceniceros, E., and Natarajan, M. (2012). Review of biodiesel composition, properties, and specifications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(1):143–169.
- Jahirul, M. I., Senadeera, W., Brooks, P., Brown, R. J., Situ, R., Pham, P. X., and Masri, A. R. (2013). An Artificial Neural Network (ANN) Model for Predicting Biodiesel Kinetic Viscosity as a Function of Temperature and Chemical Compositions. (December):1–6.
- Kivevele, T. T., Mbarawa, M. M., Bereczky, a., Laza, T., and Madarasz, J. (2011). Impact of antioxidant additives on the oxidation stability of biodiesel produced from Croton Megalocarpus oil. *Fuel Processing Technology*, 92(6):1244–1248.
- Knothe, G., Krahl, J., and Gerpen, J. V. (2010). *Biodiesel Handbook*. AOCS Press, 2nd edition.
- Kohavi, R. et al. (1995). A study of cross-validation and bootstrap for accuracy estimation and model selection. In *IJCAI*, volume 14, pages 1137–1145.
- Meng, X., Jia, M., and Wang, T. (2014). Neural network prediction of biodiesel kinematic viscosity at 313K. *Fuel*, 121:133–140.
- Moser, B. R. (2009). Biodiesel production, properties, and feedstocks. *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant*, 45(3):229–266.
- Nogueira, C. A. (2010). Densities and Viscosities of Binary Mixtures of Babassu Biodiesel Cotton Seed or Soybean Biodiesel at Different Temperatures. 55(11):5305–5310.

- Padhi, S. K. (2010). *Preparation and Characterization of Biodiesel from Non-Edible Oils*. PhD thesis, Doctoral dissertation, PhD thesis. National Institute of Technology, Rourkela.
- Piloto-Rodríguez, R., Sánchez-Borroto, Y., Lapuerta, M., Goyos-Pérez, L., and Verhelst, S. (2013). Prediction of the cetane number of biodiesel using artificial neural networks and multiple linear regression. *Energy Conversion and Management*, 65:255–261.
- Ramírez-Verduzco, L. F., Rodríguez-Rodríguez, J. E., and Jaramillo-Jacob, A. D. R. (2012). Predicting cetane number, kinematic viscosity, density and higher heating value of biodiesel from its fatty acid methyl ester composition. *Fuel*, 91(1):102–111.
- Ramos, M. J., Fernández, C. M., Casas, A., Rodríguez, L., and Pérez, A. (2009). Influence of fatty acid composition of raw materials on biodiesel properties. *Bioresource technology*, 100(1):261–8.
- Rezaee, M., Basri, M., Rahman, R. N. Z. R. A., Salleh, A. B., Chaibakhsh, N., and Masoumi, H. R. F. (2014). A multivariate modeling for analysis of factors controlling the particle size and viscosity in palm kernel oil esters-based nanoemulsions. *Industrial Crops and Products*, 52(0):506–511.
- Saldana, D. A., Starck, L., Mougin, P., Rousseau, B., Ferrando, N., and Creton, B. (2012). Prediction of Density and Viscosity of Biofuel Compounds Using Machine Learning Methods. *Energy & Fuels*, 26(4):2416–2426.
- Sanford, S. D., White, J. M., Shah, P. S., Wee, C., Valverde, M. A., Meier, G. R., Group, R. E., and Report, C. (2009). Feedstock and Biodiesel Characteristics Report. pages 1–136.
- Santos, J. d. J. (2008). *Biodiesel of Babassu: Thermal Verification, Oxidative and Binary Blends*. PhD thesis, D. Sc. Thesis. Federal University of Paráíba, Brazil.
- Sharon, H., Jayaprakash, R., Karthigai selvan, M., Soban kumar, D., Sundaresan, a., and Karupphasamy, K. (2012). Biodiesel production and prediction of engine performance using SIMULINK model of trained neural network. *Fuel*, 99:197–203.
- Silva, L. N. d. C. (1998). *Análise e síntese de estratégias de aprendizado para redes neurais artificiais*. PhD thesis, Dissertação de mestrado. Universidade Estadual de Campinas. Brasil. Pag. 210.

Biodiversity Data Quality Profiling: A practical guideline

Allan Koch Veiga, Antonio Mauro Saraiva

Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais,
Escola Politécnica – Universidade de São Paulo (USP)
Av. Prof. Luciano Gualberto, travessa 3, 158, Cidade Universitária - São Paulo - SP -
Brasil - CEP: 05508-900
{allan.kv,saraiva}@usp.br

Abstract. *The increasing availability of biodiversity data worldwide, provided by an increasing number of institutions, and the growing use of those data for a variety of purposes have raised concerns related to the "fitness for use" of such data and the impact on the outcomes of these uses. To tackle this issues a conceptual framework was defined in the context of the Biodiversity Information Standards (TDWG) to serve as consistent approach to assess and manage data quality (DQ) of biodiversity data. Based on this framework we propose a method to define DQ Profiles that describes the meaning of "fitness for use" in a given context and enable the DQ assessment and improvement.*

Resumo. *A crescente disponibilidade de dados de biodiversidade em todo o mundo, providos por um número crescente de instituições, e o crescente uso desses dados para uma variedade de usos suscitaram preocupações relacionadas a "adequação ao uso" desses dados e o impacto nos resultados desses usos. Para abordar estas questões, definiu-se um framework conceitual no contexto do Biodiversity Information Standards (TDWG) para servir como uma abordagem consistente para avaliar e gerir a Qualidade dos Dados (QD) em dados da biodiversidade. Com base neste quadro, propomos um método para definir Perfis DQ que descrevem o significado de "adequação ao uso" em um dado contexto e consequentemente permitir a avaliação e melhoria da QD.*

1. Introduction

The research field called Biodiversity Informatics (BI), which aims at applying informatics concepts, techniques and tools to research and development on biodiversity, has existed for the past 40 years, and during that time much effort was concentrated into the digitization of standardized biodiversity data, the integration of such data and on making those data available by means of digital platforms on the Internet for being used into a myriad of usages [17-24 do artigo].

In this context, the community around BI has successfully supported initiatives to capture and digitize standardized biodiversity related data and to deliver platforms for free access to biodiversity data integrated from many data providers distributed around the world, such as the Global Biodiversity Information Facility (GBIF) [GBIF 2017].

However, the increasing amount of freely available data from an also increasing amount of sources, which may have different and unclear level of concerning with the

quality of their data, has risen concerns related to the "fitness for use" of such data. Before using any data, the data users have to ask if the quality of data is fit for their particular uses, that is, to perform the Data Quality (DQ) assessment [Ge and Helfert].

Performing DQ assessment became a critical issue in the BI context, specially because not enough information about the quality of data is provided, making it difficult to split a subset of data that is fit for use for different specific purposes. Furthermore, determining if data are fit for use is an action that is highly dependent of the "data use" and deal with DQ for all potential biodiversity data usages is impractical for the most BI initiatives.

In this context, it is evident that any effort aiming at allowing DQ assessment, necessarily requires determining what DQ needs means according to the data user's perspectives, as illustrated in the Figure 1. Due to the idiosyncratic nature of the concept of "quality", it is essential to understand what means "data fitness for use" according to the data user's perspective in order to enable DQ assessment [Veiga 2017].

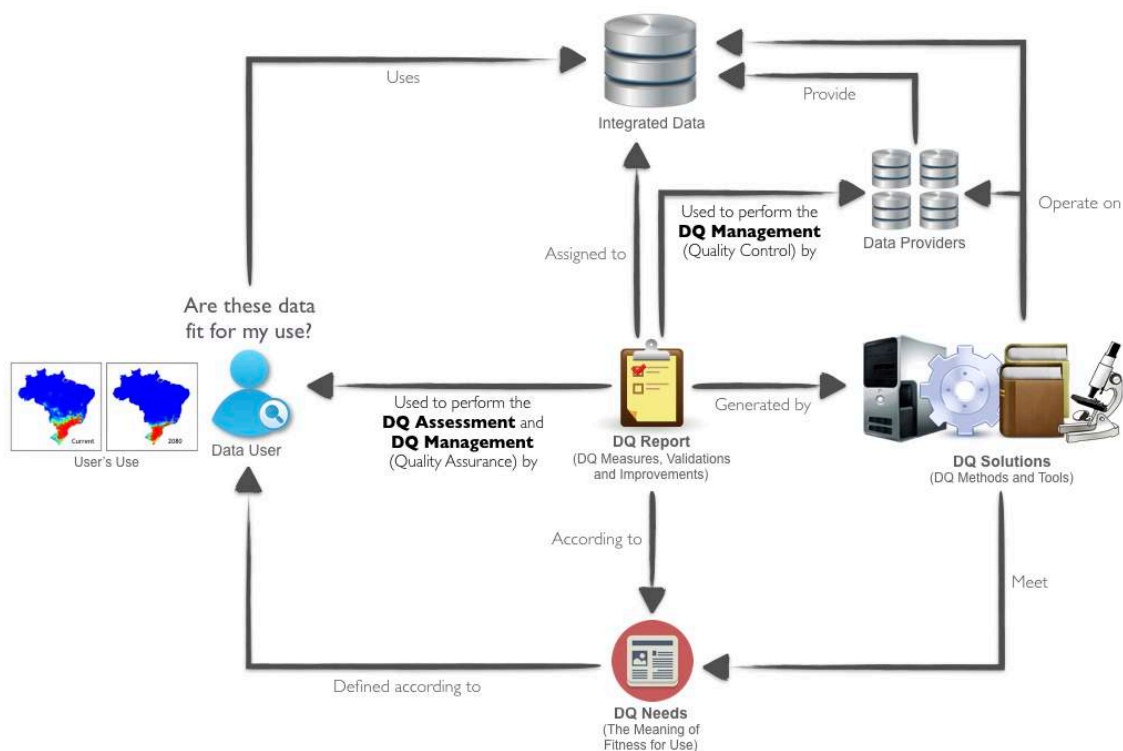


Figure 1. BI scenario and main components regarding DQ assessment and management: DQ Needs, DQ Solutions and DQ Report [Veiga 2017].

Based on a well defined user's DQ needs, DQ solutions must be delivered in order to meet the DQ needs. DQ solutions perform DQ measures, validations or improvements in datasets or single records. The results obtained by DQ solutions must be reported to data users and their respective providers for assisting them to perform the DQ assessment and management.

DQ reports, illustrated in Figure 1, are sets of DQ assertions assigned to a dataset or a single record, generated by DQ solutions according to users' DQ needs. The DQ report describes the current status of quality of a dataset or a single record according to the perspectives of data users. DQ reports contain DQ measures, validations and improvements (recommended or performed) that enable data users to perform an appropriate DQ assessment and, perhaps, the selection of a subset of the data from the original dataset that is fit for use, i.e. to perform the DQ management by the DQ assurance approach. A DQ report can also be used by data providers to improve their own data based on improvement recommendations or by just highlighting the current level of quality of their data, that is, to perform DQ management by the DQ control approach.

These three main components were formerly defined in a conceptual framework in the context of the Biodiversity Information Standards (TDWG) [Veiga 2017, Veiga and Saraiva 2016]. The original version of the framework is highly comprehensive and formal, composed by 29 interrelated concepts.

Due the comprehensiveness of the conceptual framework, it allows different interpretations and manner of use it according different stakeholders. To contextualize how different stakeholder can take advantage of the conceptual framework, we selected four stakeholders to describe their role in DQ context: DQ Profilers, Developers, Data Users and DQ Holders.

DQ Profilers are experts on DQ and/or as specific domain that uses biodiversity-related data and are interested into formalizing the way DQ is handling in a specific domain.

Developers are experts on to develop technical solutions for DQ and are interested into formalizing techniques and tools used for DQ and generate standardized and comparable outputs.

Data Users are experts on a specific domain which uses biodiversity-related data and are interested into assessing the quality of data and their fitness for use.

Data Holders are institution or people that holds, manage and curate biodiversity-related data and are interested into improving the quality and the fitness for use of data with efficiency.

For the purpose of this paper, we focus on the first stakeholder, DQ Profilers, proposing a method to define DQ Profiles based on the conceptual framework to formally describing a "meaning of data fitness for use" in a given context.

2. The conceptual framework: a brief practical overview

Formal details on the conceptual framework can be found at [Veiga 2017]. In this section will present a lite view of the framework according to a practical perspective. In this context, the framework will be approached according to three main components: DQ Profile, DQ Solutions and DQ Report, as illustrated at Figure 2.

DQ Profile defines a structure to describe the meaning of data fitness for use in a given context. A DQ Profile describes DQ needs requirements for a given context/scope. In order to implement and apply such requirements on data, it is necessary to use set of

DQ Solutions, that involves methods and mechanisms applied to meet DQ Profiles requirements.

DQ Solutions define a structure to describe methods (technical specifications) and mechanisms (tools that act on data) in order meet the DQ Profile requirements. DQ Solutions operate on Data Resources (both single records as multi records) and generates DQ Assertions assigned to each Data Resource. A set of selected DQ Assertions represents a DQ Report. DQ Report defines a set of selected DQ Assertions according to a DQ Profile requirements assigned to a Data Resources.

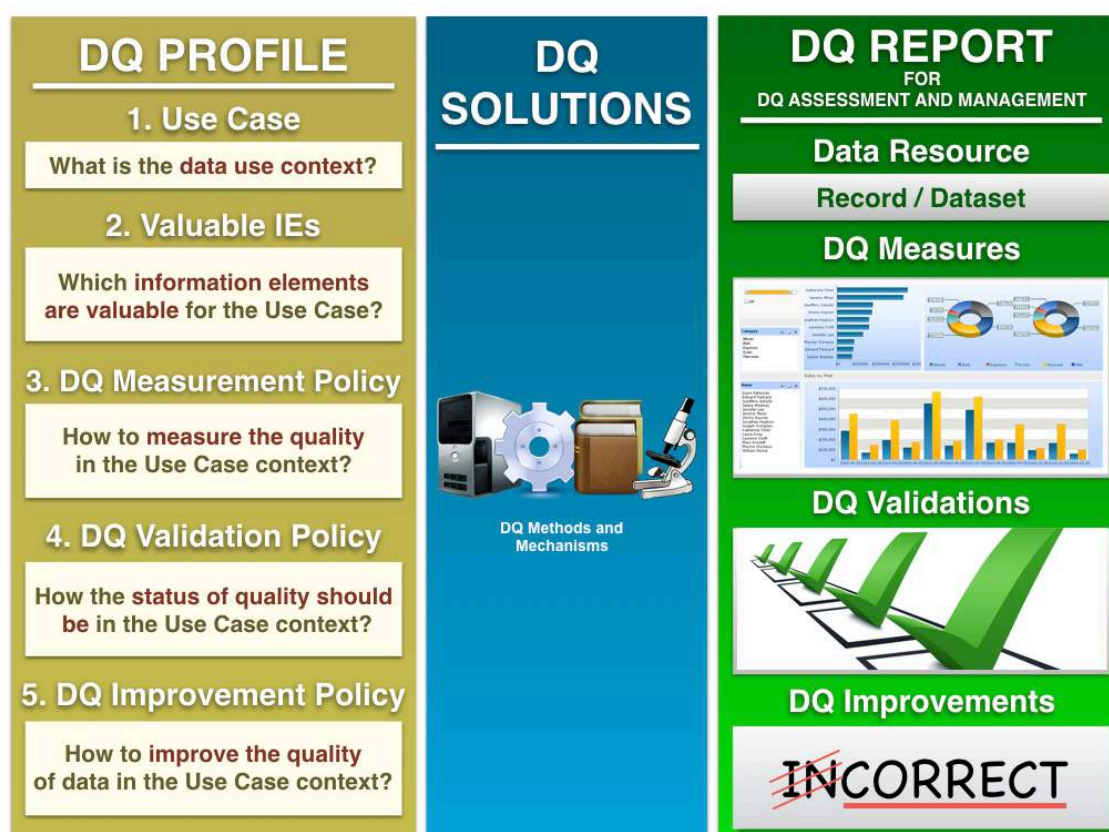


Figure 2. Structure of the Conceptual Framework

With a DQ Report assigned to a Data Resource, data users, holders, aggregators and custodians are enable to assess and improve the quality of the Data Resource according to the related DQ Profile definition.

Next section presents a practical method to define a DQ Profile in a given context.

3. Biodiversity DQ Profiling

Due to the idiosyncratic nature of the concept of “quality”, it is essential to understand what "data fitness for use" means according to the data user’s perspective in order to enable the DQ assessment and management.

In this contexts, defining “data fitness for use” involve to define three elements: use, data and fitness. Accordingly, DQ Profile encompasses these elements by five main

components: Use Case (use), Information Elements (IE) (data), DQ Measurement Policy (fitness), DQ Validation Policy (fitness) and DQ Improvement Policy (fitness).

In this context we propose a method to define a DQ Profile composed by five steps: (1) Define a Use Case; (2) Define the valuable IE in the context of the Use Case; (3) Define a DQ Measurement Policy in the Use Case context; (4) Define a DQ Validation Policy in the Use Case context and; (5) Define a DQ Improvement Policy in the Use Case context. Next we present a brief description of each step.

3.1. Defining a Use Case

By definition, it is necessary to clearly define what is the "data use context" to define the meaning of "fitness for use". The concept Use Case defines a context/scope delimitation for a DQ Profile.

A Use Case can represent a specific data use context, e.g., distribution model for the wild bee *Tetragonisca angustula s.l.* in Brazil; a generic data use or domain context, e.g. species distribution modeling, national species checklist definition, agrobiodiversity etc; institutional context, e.g. Museum of Comparative Zoology of Harvard University [Veiga 2017], Botanical Garden of Rio de Janeiro; or an aggregator context, e.g. GBIF, Sistema de Informação sobre a Biodiversidade Brasileira (SIBBr) or Atlas of Living Australia (ALA).

3.2. Defining valuable IE

An Information Element (IE) is a representation of an element or set of elements in a formal representation of the data. An IE is a single element or set of elements present in the data that may represent an event, an object, an abstract data concept such as a GUID (Global Unique Identifier), or an entity of the real world, and has some importance in a data use context.

It can be classified as a single IE or a composed IE. For example, "decimal latitude" could be a single IE that represents, in decimal degrees, the position from the Equator to the north (positive values) or to the south (negative values) with valid values between -90 and 90, inclusive. "decimal coordinates" could be a composed IE that comprises decimal latitude, decimal longitude, Datum and uncertainty in meters, which represent the a specific position on the surface of the Earth using decimal degrees (Chapman and Wiczorek 2006).

Defining valuable IE is performed by selecting a subset of IE that is required or valuable for the purposes in the Use Case context; therefore, this subset should be the target of DQ efforts, either for quality measurement, validation or improvement.

3.2. Defining a DQ Measurement Policy

DQ is a multidimensional concept, that is, the DQ concept is defined by a set of Dimensions that describes important quality aspects in some context (Dalcin 2005; McGilvray 2008; Wang et al. 1995; Strong et al. 1997).

Dimensions are measurable quality aspects of data (Wang and Strong 1996). When the quality of some data is measured, a set of Dimensions is used to obtain this quality measurement. For example, in a given context, data with high quality could

mean data that are complete, precise, credible and accurate, so in this context, the quality of data will be proportional to the measure of those DQ Dimensions.

The relevance of a dimension for a specific purpose is relative (Dalcin 2005; McGilvray 2008). In the mentioned example, DQ could be considered poor if the most important dimension was the timeliness and the measure for timeliness was considered low.

There are a number of classical DQ Dimensions cited in the literature that can be used as reference (Askham et al. 2013; Wand and Wang 1996; Fox et al. 1994; Cai and Zhu 2015), but any measurable attribute useful for measuring the quality of data in the context of a Use Case can be adopted as a DQ Dimension.

For reference, we can present some of the commonly accepted and widely used DQ Dimensions, such as: timeliness, credibility, accuracy, consistency, integrity, completeness, readability, fitness, accessibility, precision and believability (Cai and Zhu 2015).

To define a DQ Measurement Policy, a set of relevant DQ Dimensions must be selected and defined according to Use Case context. To define a DQ Dimension in a Use Case context, it is necessary to describe the Dimension (e.g. completeness, consistency, conformity) in the context of an IE (e.g. coordinates, event date, country, scientific name) and Data Resource type (i.e. single record or dataset). For example, in a given Use Case context, "Coordinates Completeness of Datasets" may represent the proportion of records with values supplied for decimal latitude and decimal longitude, in another Use Case context, "Coordinates Completeness of Datasets" may represent the total number of records with values supplied for decimal latitude, decimal longitude and geodetic *datum*.

3.2. Defining a DQ Validation Policy

A DQ Criterion is a statement that describes acceptable DQ measures by which data are judged regarding their fitness for some use. DQ Criteria are used to validate if the quality of data are satisfactory to be used in a specific Use Case context. Data compliant with the Criterion means the data are fit for use according to the related DQ Dimension.

For example, "coordinate completeness of a dataset must be equal to 100%" is a Criterion used to validate if the measure of the DQ Dimension completeness in the context of IE coordinates and resource type dataset has the measure equals 100%. If data has a measure equals 100%, the data is compliant with the Criterion, else the data is not compliant with the Criterion, and consequently unfit for use.

DQ Measurement Policy is defined by selecting a set of Criteria to split data that is fit for use from data which is not fit for use for a particular Use Case context.

3.2. Defining a DQ Improvement Policy

DQ Enhancements are statements that describe activities required to improve DQ. An Enhancement can be a description of a procedure, protocol, a best practice or anything that can be used to improve DQ. There are four types of Enhancements:

- **Prevention:** for preventing incidents (errors);
 - Ex.: "Suggest similar and valid scientific names while typing."

- **Correction:** for correcting errors;
 - Ex.: "Fill taxon hierarchy based on the most specific name."
- **Recommendation:** for recommending corrections.
 - Ex.: "Recommending coordinates based on the locality description."
- **Enrichment:** for enriching the data.
 - Ex.: "Associate known distribution maps and pictures of species to correspondent species occurrences."

An Enhancement can be classified into multiple types; for example, an Enhancement could be designed to prevent errors by recommending correct values; this features a prevention and a recommendation DQ Enhancement simultaneously.

A DQ Improvement Policy is defined by selecting a set of relevant DQ Enhancements for improving the measure of quality according to the DQ Measurement Policy and consequently make data more compliant to the DQ Validation Policy.

4. Final Remarks

The presented method enables to define the meaning of fitness (through the DQ Measurement, Validation and Improvement policies) of a set of valuable IE in the context of a specific Use Case context. All these components putting together defines a DQ Profile.

Based on a DQ Profile, a set of method and mechanisms (usually softwares) for measure, validate and improve the quality of Data Resources, generating customized DQ Reports suitable for the assessment and improvement of DQ in the Use Case context.

This work has been developed in the context of TDWG/GBIF Biodiversity DQ Interest Group [BDQ-IG 2017], more specifically, in the context of the Task Group 1 - Framework on DQ [TG1 2017].

References

- Boulic, R. and Renault, O. (1991) "3D Hierarchies for Animation", In: *New Trends in Animation and Visualization*, Edited by Nadia Magnenat-Thalmann and Daniel Thalmann, John Wiley & Sons ltd., England.
- Dyer, S., Martin, J. and Zulauf, J. (1995) "Motion Capture White Paper", http://reality.sgi.com/employees/jam_sb/mocap/MoCapWP_v2.0.html, December.
- Holton, M. and Alexander, S. (1995) "Soft Cellular Modeling: A Technique for the Simulation of Non-rigid Materials", *Computer Graphics: Developments in Virtual Environments*, R. A. Earnshaw and J. A. Vince, England, Academic Press Ltd., p. 449-460.
- Knuth, D. E. (1984), *The TeXbook*, Addison Wesley, 15th edition.
- Smith, A. and Jones, B. (1999). On the complexity of computing. In *Advances in Computer Science*, pages 555–566. Publishing Press.

Proposta de um sistema web para padronização, registro e integração de dados brutos em Ictiologia

Emerson Luiz F. Borges, Adriana Pereira Medeiros

Instituto de Ciência e Tecnologia - Universidade Federal Fluminense (UFF)
- Rio das Ostras – RJ – Brasil

emersonborges@macae.ufrj.br, adriana medeiros@puro.uff.br

Abstract. *This paper describes the proposal of a web information system for formatting and structuring the sample events data and species occurrence in Ichthyology, according to the Darwin Core. The objective is promoting integration with SiBBr and other biodiversity information systems. In addition, the system will allow the insertion of water data from the sample environment and climatic data that will be used to assist researchers in understanding environmental factors that determine patterns of composition and abundance, and establishing cause and effect relationships.*

Resumo. *Este artigo descreve a proposta de um sistema de informação web para formatação e estruturação dos dados de eventos de coleta e ocorrência de espécies em Ictiologia no padrão Darwin Core. O objetivo é promover a integração com o SiBBr e outros sistemas de informação da biodiversidade. O sistema permitirá também a inserção de dados da água do ambiente de coleta e dados climáticos, que serão utilizados na compreensão de fatores ambientais que determinam os padrões de composição e abundância e estabelecimento de relações de causa e efeitos.*

1. Introdução

O Sítio Restingas e Lagoas Costeiras do Norte Fluminense (RLaC) compõe a rede de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração (PELD). Seu objetivo é compreender a estrutura e o funcionamento dos ecossistemas de lagoas costeiras e restingas do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba e prever os efeitos de perturbações naturais e antrópicas sobre esses ecossistemas (Esteves e Petry 2008).

Uma característica comum das subáreas de pesquisa do PELD-RLaC é o registro inicial dos dados brutos (ainda não processados). Os pesquisadores da subárea de Ictiologia (estudo de peixes) registram dados brutos de espécimes como características, quantidade obtida em cada ponto de coleta, quantidade coletada por espécie, dados biométricos (medidas e peso), sexo, entre outros. Também são registradas as características do ambiente aquático como profundidade, salinidade, as quantidades de fósforo, nitrogênio, ph, carbono, oxigênio, clorofila e condutividade, e ainda, variáveis ambientais como temperatura, pressão atmosférica, umidade e quantidade de chuva.

A única forma de armazenamento desses dados é o registro em cadernos ou fichas de campo. Posteriormente, esses dados são inseridos em planilhas eletrônicas para gerar valores médios, desvios padrões e gráficos, com o objetivo de utilizá-los em monografias, dissertações, teses, relatórios e artigos científicos. O processo de criação dessas planilhas é feito de forma individual, sem nenhum tipo de padrão, dificultando o

compartilhamento dos dados brutos. De acordo com Rocha et al. (2004), esses dados estão sujeitos à degradação devido a problemas como: desvinculação de pesquisadores do projeto; morte de pesquisadores e problemas com hardware ou software que inviabilizam o acesso aos dados.

A disponibilização dos dados obtidos no âmbito de cada sítio de pesquisa no Sistema Brasileiro da Biodiversidade (SiBBR) é uma exigência do PELD (CNPq 2016). O SiBBR é uma plataforma on-line que pretende reunir dados e informações sobre a biodiversidade do Brasil, e foi desenvolvido para integrar e disseminar dados coletados e publicados por diversas instituições brasileiras, como universidades, institutos de pesquisa e agências governamentais (Gadelha et al. 2014). O principal problema enfrentado pelos pesquisadores de Ictiologia do PELD-RLaC é o mapeamento dos dados brutos coletados para um padrão que permita a integração com o SiBBR. Atualmente, esse mapeamento vem sendo efetuado manualmente, criando-se duas planilhas eletrônicas: uma nomeada *Event*, que armazena os dados referentes ao evento de coleta, e uma segunda planilha, nomeada *Occurrence*, onde são armazenados os dados referentes às ocorrências de organismos em cada evento discriminado na planilha *Event*.

Este artigo propõe um sistema de informação web que tem por objetivo permitir a inserção dos dados de coleta e de ocorrências de espécies em Ictiologia do sítio PELD-RLaC estruturados no padrão *Darwin Core*, para que posteriormente possam ser integrados ao SiBBR e outros sistemas. O sistema também permitirá a inserção de dados da água do ambiente de coleta e dados climáticos. Esses dados serão utilizados para auxiliar os pesquisadores na compreensão de fatores ambientais que determinam os padrões de composição e abundância e estabelecimento de relações de causa e efeitos.

2. O Padrão Darwin Core e a Ontologia BLO

O Darwin Core (TDWG 2009) é um glossário de termos de classes e propriedades criado para facilitar o compartilhamento de informações sobre a diversidade biológica. O núcleo do *Darwin Core* é baseado em categorias taxonômicas, suas ocorrências na natureza e suas interações com o ambiente. As classes do *Darwin Core* utilizadas neste trabalho são *Event*, *Occurrence*, *Location*, *Identification*, *Taxon*, *Organism* e *MeasurementOrFact*. A classe *Event* representa os eventos de coletas que ocorrem em determinado local em um determinado período de tempo. Cada instância da classe *Event* resultará em uma ou mais instâncias da classe *Occurrence*, que representa a ocorrência de espécies de cada evento. As espécies representadas em instâncias da classe *Occurrence* são identificadas com base numa classificação taxonômica representada pela classe *Taxon*. A classe *MeasurementOrFact* representa as instâncias de cada medida (comprimento, peso etc) de cada Organismo da classe *Occurrence*.

A ontologia BLO (*Batata Lake Ontology*) (Souza e Medeiros 2015) é uma ontologia de aplicação desenvolvida para descrever semanticamente dados de pesquisa e análise do Lago do Batata (Oriximiná/PA). Neste trabalho serão utilizadas as classes *Water*, *Rain*, *Air* e *Period*. Para cada evento de coleta são registrados os dados da água referentes ao ponto de coleta onde ocorreu o evento, esses dados são representados pela classe *Water*. Os dados climáticos, representados pelas classes *Rain* e *Air*, serão utilizados de acordo com um período de tempo, representado pela classe *Period*.

3. Arquitetura do sistema proposto

Na Figura 1, é apresentada a arquitetura do sistema *Freshwater Fish Ecology Data*,

composto por três camadas. Na primeira camada (1) o pesquisador poderá inserir, alterar, excluir e consultar dados dos eventos de coleta, ocorrências de espécies, medidas dos organismos e dados de água relacionados ao evento de coleta. Na camada intermediária (2), os dados de água (salinidade, ph, clorofila etc), assim como os dados climáticos (ar e chuva), serão fornecidos de acordo com as classes da ontologia BLO. O sistema permitirá que os dados dos eventos de coleta, ocorrência de espécies e medidas de organismos sejam fornecidos diretamente no padrão *Darwin Core*. A terceira camada (3) mostra que os dados fornecidos serão armazenados em um banco dados, juntamente com os metadados de cada subprojeto. Os dados de eventos de coleta e ocorrências de espécies serão exportados para o SiBBr através de comandos *SQL*. Todos os dados armazenados serão utilizados para gerar dados estatísticos apresentados em formato de gráficos e plotados em mapas de acordo com a necessidade de cada pesquisador. Após o seu desenvolvimento, o sistema será avaliado pelos pesquisadores do PELD-RLac executando casos de testes relacionados à inserção e consulta de dados, e à exportação desses dados para o SiBBr.

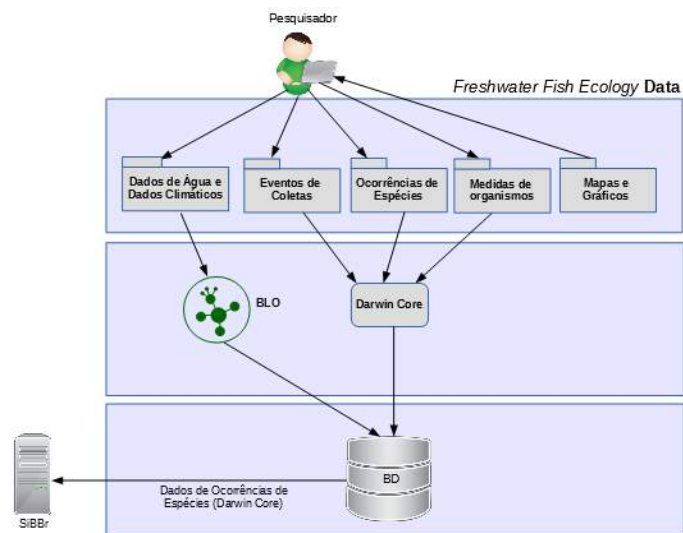


Figure 1. Arquitetura do Freshwater Fish Ecology Data

4. Trabalhos relacionados

O sistema de informação *speciesLink* (Canhos 2005) permite integrar dados dos acervos de coleções biológicas do Estado de São Paulo, fazendo o mapeamento desses dados para o padrão Darwin Core. O *Biodiversity Data Digitizer* (BDD) (Cartolano et al. 2010) é uma ferramenta projetada para facilitar a digitalização, manipulação e publicação de dados sobre a biodiversidade com base no padrão Darwin Core. O BDD possui módulos para interações entre espécimes, monitoramento, análises estatísticas, visualização de dados e sincronização de dados entre o seu banco de dados e planilhas eletrônicas. O *Brazilian Marine Biodiversity* (BaMBa) é uma base de dados integrada sobre a biodiversidade marinha brasileira utilizando os padrões EML e Darwin Core (Meirelles et al. 2015). BaMBa permite a inserção de dados marinhos, através do upload de planilhas a partir de um modelo fornecido, e a inserção de variáveis ambientais.

Esses trabalhos apresentam estratégias diferentes para padronização de dados da biodiversidade no padrão *Darwin Core*. BDD e BaMBa são os que mais se relacionam

com o trabalho proposto neste artigo. O primeiro por oferecer uma interface onde o pesquisador insere dados brutos no padrão *Darwin Core*. O segundo por apresentar uma estratégia para a integração com o SiBBr e outros sistemas. Porém, esses trabalhos não tratam o gerenciamento de dados de peixes de água doce, que é de extrema relevância para o estudo da dinâmica da ocupação no complexo de lagoas do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba realizado pelos pesquisadores do PELD-RLac.

5. Conclusão

O sistema facilitará a padronização dos dados, permitirá a integração com o SiBBr de forma automatizada e garantirá aos pesquisadores de Ictiologia do PELD-RELaC a preservação e a disponibilização desses dados. Assim, este trabalho poderá iniciar um processo de mudança de cultura entre os pesquisadores do Núcleo de Pesquisas Socioambiental de Macaé (NUPEM/UFRJ), onde estão alocados 90% dos pesquisadores do sítio PELD-RELaC. Essa mudança diz respeito às rotinas que envolvem o arquivamento e a disponibilização individual dos dados para uma cultura de integração, disponibilização e reutilização desses dados, independente do objetivo das coletas.

6. Referências

- Canhos, V. P. Sistema de Informação Distribuído para Coleções Biológicas: A Integração do Species Analyst e SinBiota.n. 2001/02175-5, p.2-51, 2005. <http://splink.cria.org.br/docs/outubro2005.pdf>.
- Cartolano, E. A.; Saraiva, A. M.; Veiga, A. K.; et al. Biodiversity Data Digitizer, 2010. Woods Hole, USA.
- CNPq (2016). “Política de Dados do Programa de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração – PELD” (2016). http://www.cnpq.br/web/guest/view/-/journal_content/56_INSTANCE_ED/10157/4621110.
- Darwin Core Task Group, Biodiversity Information Standards (TDWG) (2009). “Darwin Core”. <http://rs.tdwg.org/dwc/>
- Esteves, F. D. A.; Petry, A. C. (2008). “Limnologia Em Pesquisas Ecológicas De Longa Duração: A Experiência nas Lagoas Costeiras do Norte Fluminense (PELD-SÍTIO 5)”. p. 1–11.
- Gadelha Jr., L. M. R., Guimaraes, P., Moura, A. M. C., Drucker, D., Dalcin, E., Gall, G., Tavares Jr, J., Palazzi, D. C., Poltosi, M., Porto, F., Moura, F., Leo, W. V. (2014). “SiBBr: Uma Infraestrutura para Coleta, Integração e Análise de Dados sobre a Biodiversidade Brasileira”. VIII Brazilian e-Science Workshop (BRESCI 2014). Proc. XXXIV Congress of the Brazilian Computer Society, 2014.
- Meirelles, Pedro Milet, et al. “BaMBA: towards the integrated management of Brazilian marine environmental data.” *Database 2015 – Journal of Biological Database and Curation* (2015): bav088.
- Rocha, C. F. D. Da; Assis Esteves, F. de; Scarano, F. R. (2004) “Pesquisas de longa duração na Restinga de Jurubatiba: ecologia, história natural e conservação”. RiMa.
- Souza, A. N. ; Medeiros, A. P. (2015). “BLO: Batata Lake (Oriximiná/PA) Application Ontology”. Seminário de Pesquisa em Ontologias do Brasil (ONTOBRAS), São Paulo. v. 1442.

Avaliação de Diferentes Arquiteturas de Redes Neurais Recorrentes na Previsão do Nível de Atividade de Abelhas

Pedro A. B. Gomes¹, Eduardo C. de Carvalho², Helder M. Arruda²,
Paulo de Souza³, Gustavo Pessin^{1,2}

¹Instituto de Ciências Exatas e Naturais
Universidade Federal do Pará (UFPA) – Belém, PA, Brasil

²Laboratório de Computação Aplicada
Instituto Tecnológico Vale – Belém, PA, Brasil

³Data61, CSIRO – Sandy Bay, Tasmania, Australia

pedroabg@ufpa.br, eduardo.carvalho@pq.itv.org, helder.arruda@itv.org
paulo.desouza@data61.csiro.au, gustavo.pessin@itv.org

Resumo. *Um terço dos alimentos consumidos pela humanidade são provenientes da ação das abelhas. Estes insetos também são fundamentais para a reprodução das plantas e estão desaparecendo do planeta. Um entendimento sobre o seu comportamento, aqui abordado sobre o ponto de vista do seu nível de atividade, pode ajudar a detectar situações adversas e até potencializar o uso das abelhas em culturas. Frente a isso, neste trabalho são avaliadas seis arquiteturas de Redes Neurais Recorrentes, alternando topologia e estruturas GRU e LSTM, para prever o nível de atividade de abelhas baseado nos valores de níveis passados. Mostra-se também como o modelo com menor erro é melhorado quando treinado com mais informações de níveis anteriores.*

1. Introdução

As abelhas são consideradas o grupo mais eficaz de insetos polinizadores pois elas necessitam das plantas para retirar o seu alimento [Gullan and Cranston 2008]. Ao contrário de outros grupos de insetos, tanto as abelhas adultas quanto suas larvas e pupas alimentam-se exclusivamente de recursos florais. Por isso, para suprir sua necessidade alimentar, as abelhas visitam uma grande variedade de flores colhendo o pólen (fonte de proteína) e o néctar para a produção do mel. A atividade de polinização é, portanto, uma ação involuntária dos polinizadores, mas essencial à vida das plantas, que se utilizam de cheiros, cores e sabores para atraí-los [Cetapis-Ufersa 2017]. Além disso, de todo o alimento consumido pela humanidade, estima-se que 35% depende da ação das abelhas [Message et al. 2012]. Isto quer dizer que cerca de um terço dos alimentos que chegam às mesas das pessoas são provenientes da ação desses insetos exercendo o papel de polinizadores.

No entanto, apesar do crescimento global do número de colmeias domesticadas, a quantidade de abelhas vem diminuindo nos Estados Unidos desde a década de quarenta, e em alguns países da Europa desde a década de sessenta [Potts et al. 2009]. Segundo [JS Pettis et al. 2013], grande parte desse declínio populacional das abelhas é proveniente de uma combinação de pesticidas e fungicidas que contamina o pólen coletado pelas abelhas para alimentar as colmeias.

Levando isso em consideração, vê-se a importância de preservar e entender as atividades das abelhas. Assim, é fundamental estudar técnicas que poderiam ser usadas para prever a situação desses insetos. Por exemplo: (1) há plantas que oferecem flores masculinas e femininas em determinados horários. Se uma colmeia instalada em uma área registra grande movimentação neste período, já seria um forte indício de que estas abelhas estariam polinizando na cultura; (2) se a agitação das abelhas não estiver de acordo com o nível previsto, pode significar que há uma alteração no ambiente da colmeia; (3) através do horário de maior atividade registrado, pode-se deduzir que horas as plantas da cultura próxima a colmeia estão aptas à polinização.

Em [Almeida 2008], outros quesitos também são analisados, como a frequência de voo e sua influência no comportamento do enxame. Já em relação a classificação de comportamento animal, [Schwager et al. 2006] utiliza o método de aprendizado de máquina K-means para separar o comportamento de bovinos em duas classes. Dessa forma, os autores conseguem discriminar quando estes animais estão em um estado de atividade ou inatividade. No trabalho de [Martens and Sutskever 2011] os autores estudam como treinar e usar Redes Neurais Recorrentes (RNNs) [Rumelhart et al. 1986] para problemas em que os dados aparecem de forma sequencial e têm certa dependência dos dados anteriormente treinados. E no artigo de [Junyoung Chung and Bengio 2014], são estudadas as estruturas de unidade de recorrência para RNNs, GRU e LSTM, na resolução de problemas sequenciais.

Diante do exposto, este trabalho visa a predição do nível de atividade de abelhas, que pode ser abordado como um problema de previsão de séries temporais. Aqui serão usadas RNNs para prever tal comportamento baseado nos níveis de atividade passados. Diferentes arquiteturas de RNNs serão avaliadas, tal como diferentes opções de unidade de recorrência. O restante desse artigo se divide da seguinte forma: na seção 2 explica-se como os dados foram coletados e como foram criados, testados e treinados os modelos de RNNs; Os resultados são apresentados na seção 3 assim como mais testes com o melhor modelo encontrado são analisados. Por fim, a seção 4 apresenta as conclusões deste trabalho e sugere possibilidades de trabalhos futuros.

2. Métodos

2.1. Coleta de Dados

A etapa de coleta de dados foi realizada como parte do projeto *Microsensores* [de Souza et al. 2017] [Arruda 2015] onde etiquetas eletrônicas foram coladas em abelhas a fim de aprimorar o conhecimento sobre o comportamento desses insetos. Os dados de movimentação de abelhas foram obtidos por meio do emprego de etiquetas RFID (Radio-frequency identification) em oito colmeias, como a da Figura 1. Considerou-se o período de 1 a 31 de agosto de 2015, no qual 1.280 abelhas tiveram etiquetas afixadas ao tórax, sendo 40 abelhas por colmeia (8 colmeias) por semana (4 semanas). Cada passagem de uma abelha sobre o sensor gera um registro de movimentação que, após filtrados, geraram um total de 127.758 atividades (aproximadamente 100 registros de atividade por abelha durante o período do experimento).

O *nível de atividade* de abelhas é definido neste trabalho como o total de movimentos em determinada hora, dividido pelo número de abelhas vivas naquele momento. Dessa forma, o número varia de 0,0 a aproximadamente 2,0. Zero significa que nenhuma



Figura 1. (1) Colmeia de *Melipona Fasciculata*, (2) Intel Edison para controle da antena leitora de RFID e armazenamento dos dados, (3) Caixa de PVC para armazenamento dos itens eletrônicos, (4) Antena leitora de RFID, (5) Tubo plástico para passagem das abelhas. No canto inferior direito, vê-se uma abelha com etiqueta de RFID presa junto ao tórax.

abelha está realizando atividade; dois significa que cada abelha está realizando dois movimentos naquela hora. Em média, tinha-se entre 240 e 320 abelhas vivas por dia durante o experimento. A Figura 2 mostra parte da série temporal do nível de atividade.

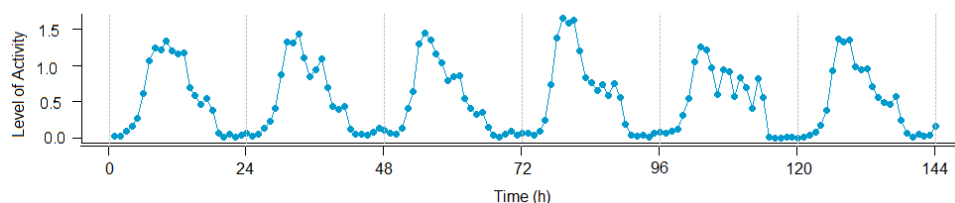


Figura 2. Série temporal parcial de atividade de abelhas dos dias 1 a 6 de agosto de 2015. Valores por hora. A série temporal de atividade de abelhas apresenta o número médio de atividades realizadas por cada abelha ativa no sistema.

2.2. Criação do Modelo

Redes Neurais Artificiais (RNAs) são um método de aprendizado de máquina que se baseia em uma metáfora do comportamento do cérebro. São formadas por unidades de processamento simples denominados neurônios que são responsáveis pelo cálculo de determinadas funções matemáticas. Os neurônios ficam organizados em uma ou mais camadas e interligados por conexões [Braga et al. 2000]. A arquitetura utilizada na rede neural depende do tipo de problema que se propõe a resolver. As RNAs com apenas uma camada são suficientes para resolver problemas linearmente separáveis, já as redes com mais camadas permitem resolver problemas não lineares. Sendo assim, as redes neurais têm sido empregadas em uma série de problemas de predição e interpolação de variáveis, como pode ser visto em [Furquim et al. 2015], [Façal et al. 2016] e [Carvalho et al. 2017].

Por sua vez, as Redes Neurais Recorrentes (RNNs) são a família de redes neurais especializadas no processamento de dados sequenciais, isto é, uma sequência de valores $\mathbf{x}(1), \mathbf{x}(2), \dots, \mathbf{x}(T)$. Além disso, as redes recorrentes são capazes de processar de forma prática sequências muito maiores que as redes neurais que não são especializadas em dados sequenciais. Aliás, a maioria das redes recorrentes também podem processar entradas de tamanho variado [Goodfellow et al. 2016].

Redes neurais recorrentes podem ser construídas de diversas formas. Assim como quase toda função pode ser considerada uma rede neural *feedforward*, basicamente qualquer função que envolva uma recorrência pode ser considerada uma RNN. De forma geral a seguinte equação representa a recorrência da rede neural:

$$h^{(t)} = f(h^{(t-1)}, x^{(t)}; \theta)$$

Aqui, o termo \mathbf{h} indica o estado escondido no instante \mathbf{t} , instante atual. $h^{(t-1)}$ indica todos os cálculos acumulados até o instante anterior. $x^{(t)}$ é o vetor de entradas atual e θ é o conjunto de parâmetros compartilhados ao longo do tempo.

A Figura 3 mostra em forma de grafo uma RNN que produz uma saída a cada instante de tempo. Também observa-se o treinamento da rede e o fluxo dos dados. O loss \mathbf{L} mede o quão longe cada saída da camada \mathbf{o} está do alvo de treino correspondente \mathbf{y} . Esse fator \mathbf{L} pode ser, por exemplo, o erro médio quadrático. Além disso, a RNN tem as conexões das entradas para as unidades escondidas parametrizadas pela matriz de pesos \mathbf{U} ; A conexão entre as unidades escondidas parametrizadas pela matriz de pesos \mathbf{W} ; E a matriz \mathbf{V} parametriza os valores das unidades escondidas para a saída \mathbf{o} .

Contudo, alguns algoritmos de treinamento convencionais como o *Back-Propagation Through Time* (BPTT) [Werbos 1987] e o *Real-Time Recurrent Learning* (RTRL) [Robinson and Fallside 1987] podem apresentar problemas na propagação do erro e dos valores dos instantes anteriores ao longo da estrutura, como um crescimento muito grande ou desaparecimento desses valores. Para atenuar essas situações, utiliza-se principalmente duas arquiteturas para a unidade de recorrência da rede: *Long short-term memory* (LSTM) [Hochreiter and Schmidhuber 1997] e *Gated recurrent units* (GRU) [D. Bahdanau and Bengio 2014].

Essas duas arquiteturas para a unidade de recorrência são baseadas na estrutura de *portões*. Por sua vez, estes controlam a quantidade da informação que entra na unidade, a quantidade que será memorizada e a informação que será passada para as próximas unidades. As duas arquiteturas têm portões diferentes que são treinados junto com os outros pesos da rede como mostrado na Figura 4.

Com o objetivo de investigar a melhor topologia de rede neural recorrente para a previsão no nível de atividade de abelhas, foram analisados 3 formatos de rede com: uma camada escondida com 4 unidades de recorrência; duas camadas escondidas com 2 unidades de recorrência cada, totalmente conectadas; e quatro camadas escondidas com uma unidade cada. Todas elas com uma camada de saída. E para cada formato, um tipo diferente de unidade GRU ou LSTM. A Figura 5 mostra essas arquiteturas. Assim, gerou-se, respectivamente seis modelos: **GRU-4**, **GRU-2X2**, **GRU-1-1-1-1**, **LSTM-4**, **LSTM-2X2** e **LSTM-1-1-1-1**.

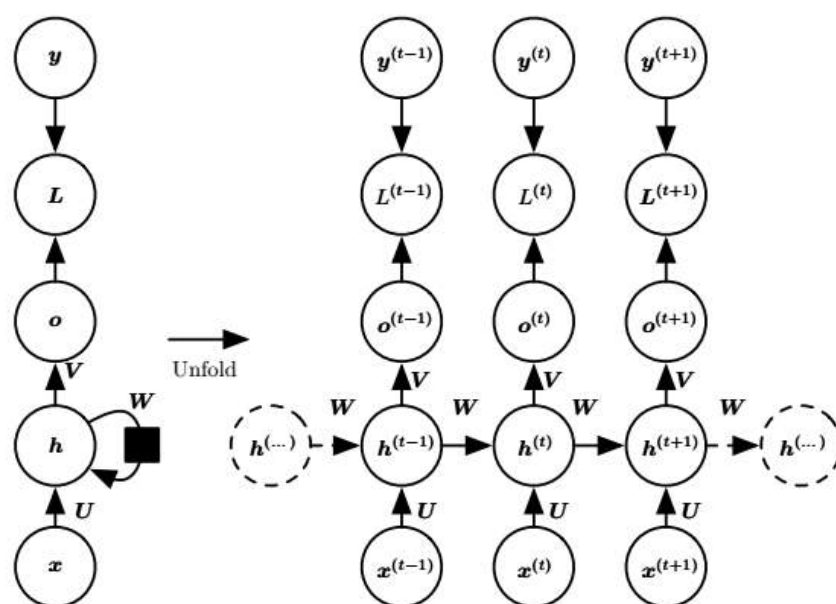


Figura 3. Grafo da rede recorrente que computa o valor do *loss* L e através da comparação da saída o gerada, e dos valores conhecidos y . O vetor de entrada é o x , a rede apresenta uma saída a cada instante e os parâmetros são passados pela camada escondida. No grafo da esquerda, o quadrado preto nas setas indica a passagem do instante de tempo. O grafo da direita apresenta a mesma rede de forma expandida ao longo dos instantes de tempo [Goodfellow et al. 2016].

2.3. Treinamento e Teste

Os modelos foram avaliados através do *Root Mean Squared Error* (RMSE) calculado pela fórmula:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n e_t^2}$$

onde e é a diferença entre o valor que se tem do nível de atividade e o predito pelo modelo.

Os dados foram preparados de forma que criou-se uma tabela de duas colunas, uma com o nível de atividade no instante $t-1$ (*feature*) e outra com o nível de atividade no instante t (*target*), uma hora a frente. Dito isso, os modelos têm como entrada os dados da primeira coluna e tentam prever o nível de atividade do instante seguinte.

Finalmente, para treinar e testar as redes, os dados foram embaralhados e divididos em 70% para treino e 30% para teste. Assim, para ter mais credibilidade nos resultados, cada modelo foi treinado e testado 10 vezes.

3. Resultados

Mediante a inicialização randômica da matriz de pesos das redes, cada arquitetura foi executada 10 vezes, como dito anteriormente. Desse modo, o gráfico da Figura 6 apresenta o erro de cada arquitetura, onde cada *boxplot* contém os valores das 10 execuções. Logo, observa-se que a melhor arquitetura foi a **GRU-2x2**, obtendo uma média de 0,214628 de RSME, sendo o mínimo de 0,207741.

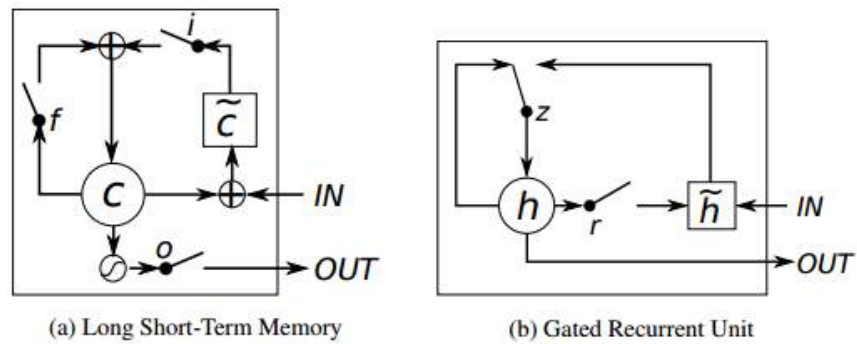


Figura 4. Desenho das estruturas (a) LSTM e (b) GRU. (a) i , f e o são os portões *input*, *forget* e *output*, respectivamente. c e \tilde{c} são a célula de memória e o novo conteúdo dela. (b) r e z são os portões *reset* e *update*. E h e \tilde{h} são a ativação e o candidato a ativação [Junyoung Chung and Bengio 2014].

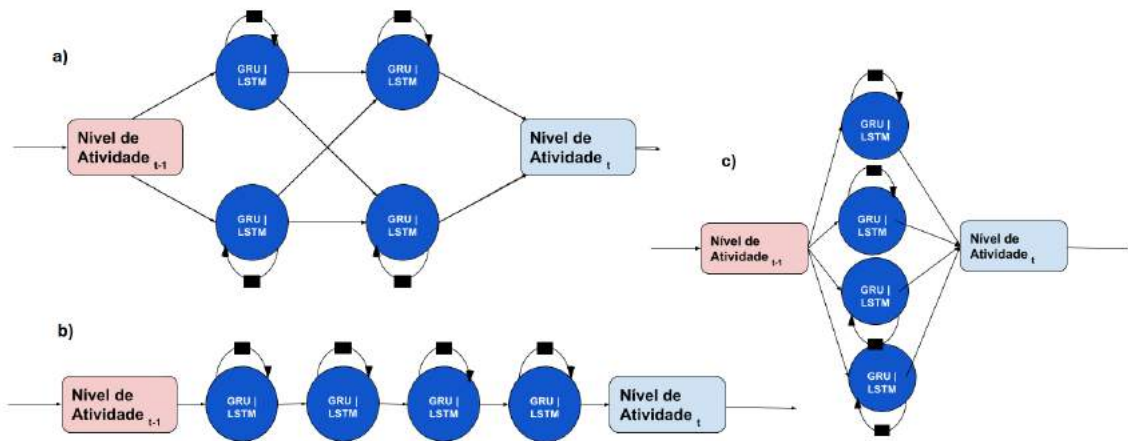


Figura 5. Desenho dos modelos criados: a) duas camadas escondidas com duas unidades cada, b) quatro camadas com uma unidade, c) uma camada com 4 unidades; Todas as estruturas possuem uma camada de saída e as unidades de recorrência ora empregam GRU, ora LSTM, totalizando 6 modelos. O quadrado preto nas setas indica a passagem do instante de tempo.

Analisando a melhor execução da **GRU-2x2**, a de RMSE igual a 0,207741, observa-se pelas Figuras 7 e 8 como os valores preditos acompanham os valores observados. O gráfico da Figura 7 organiza os níveis de atividades observados em forma crescente assim como suas respectivas previsões. Nota-se que os valores preditos acompanham os observados nas 120 amostras de hora.

Já a Figura 8, também apresenta uma observação de cerca de cinco dias, em 120 horas de amostras de nível de atividade, porém de forma sequencial como foram coletadas. As amostras são do dia 22 a 27 de agosto. Observa-se que as previsões conseguiram acompanhar os valores observados inclusive nos momentos de pico.

3.1. Variação da janela de entrada

No intuito de melhorar o resultado da previsão, foram feitos mais alguns testes com a arquitetura **GRU-2x2**. Entretanto, dessa fez variou-se o tamanho da janela de entrada,

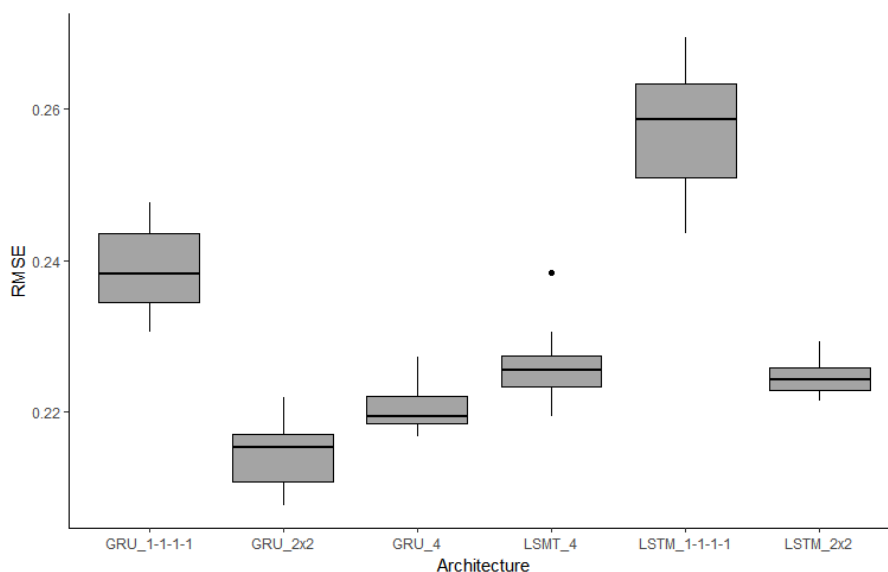


Figura 6. Cada boxplot apresenta o resultado do erro RMSE das 10 execuções de cada arquitetura.

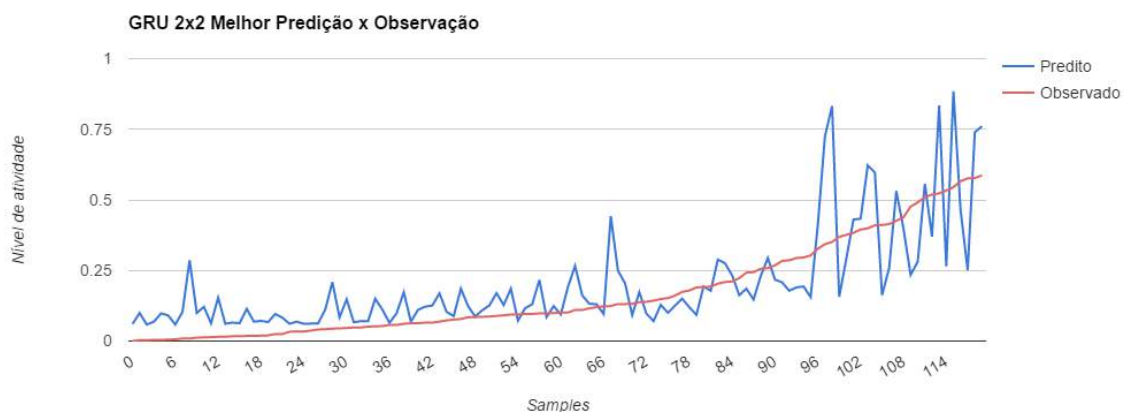


Figura 7. Amostras do nível de atividade organizadas de forma crescente acompanhadas do valor correspondente predito pela RNN GRU-2x2.

ou seja, testou-se quantidades diferentes de instantes anteriores para prever o instante seguinte, estimulando a habilidade da RNN em manter informações úteis ao longo do tempo.

Os testes foram feitos usando 3, 5, 8, 13, 21, 34 e 55 instantes de tempo anteriores às amostras preditas. A Figura 9 mostra os erros de cada configuração. Este gráfico aponta que a melhor configuração é a **t-34** indicando que uma maior janela não implica sempre em redução do erro, vide **t-55**. Como definido na seção 2, o nível de atividade é calculado considerando o total de movimentos dividido pelo número de abelhas vivas naquela hora. Ou seja, tendo o conhecimento do nível de atividade das últimas 34 horas, pode-se estimar, com o modelo **GRU-2x2**, o nível no instante atual com um RMSE de 0,171735. Em outras palavras, visto que o nível variou entre 0,0 e 2,0, o erro dessa configuração foi em torno de apenas 8%.

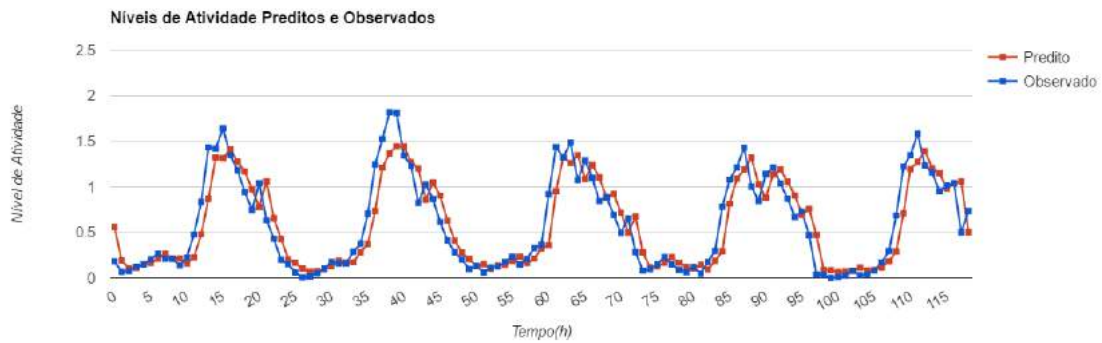


Figura 8. Cinco dias de observações e suas respectivas predições.

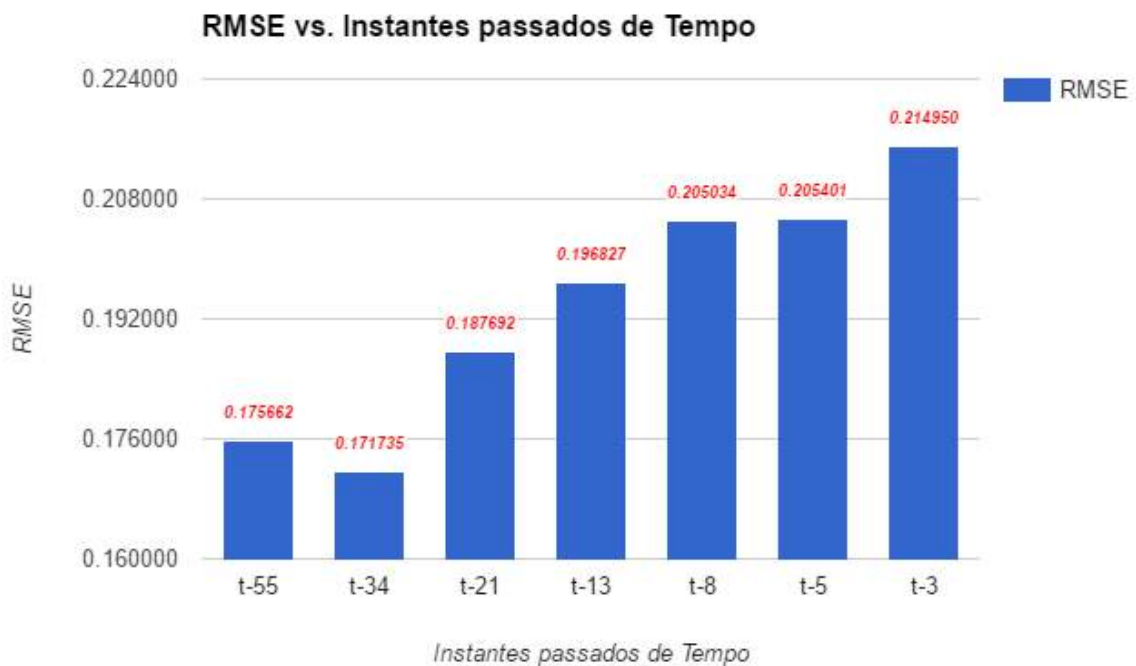


Figura 9. RMSE do modelo GRU-2x2 para cada tamanho de janela de tempo.

4. Conclusões e trabalhos futuros

Neste trabalho foram analisados seis modelos de redes neurais recorrentes. As configurações foram treinadas e testadas com a série temporal do nível de atividade de abelhas no intuito de prever o nível no instante seguinte. A configuração com o menor RMSE foi a **GRU-2x2** que possui duas camadas escondidas com duas unidades de recorrência GRU e a camada de saída com um neurônio. Além disso, treinou-se o melhor modelo com tamanhos variados de janela temporal obtendo o erro mínimo de 0,171735 quando utilizou-se 34 registros passados, **t-34**.

Certamente, um melhor conhecimento sobre o comportamento das abelhas pode contribuir muito para o meio ambiente e para nossas vidas. Frente a isso, diversos trabalhos futuros podem ser elaborados. Por exemplo: (1) Análise do nível de atividade de abelhas em diferentes espécies próximas a determinada cultura para indicar a espécie mais eficiente para a polinização dessas plantas, (2) Incluir variáveis climáticas na predição,

(3) Testar arquiteturas maiores de RNNs, e (4) Utilizar outros métodos de aprendizado de máquina para prever o nível de atividade de abelhas.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem aos colegas Bruno Ferreira (ITV) e Hanna Carvalho (UFPA) pelas frutíferas discussões. Além disso, os autores agradecem ao Daniel Santiago (Embrapa) por auxílios no desenvolvimento do trabalho. O primeiro autor agradece também a CAPES pela concessão da bolsa de mestrado. Para finalizar, os autores agradecem a Vera Fonseca e a equipe do projeto microssores (CSIRO/ITV).

Referências

- Almeida, G. F. (2008). *Fatores que interferem no comportamento enxameatório de abelhas africanizadas*. Departamento de Biologia, Programa de Pós-Graduação em Entomologia.
- Arruda, H. M. (2015). *Arquitetura Computacional para Manuseio de Dados de Clima e Movimentação de Abelhas com Etiquetas Eletrônicas*. Programa de Mestrado Profissional em Uso Sustentável de Recursos Naturais em Regiões Tropicais do Instituto Tecnológico Vale.
- Braga, A., Ludemir, T., and Carvalho, A. (2000). *Redes Neurais Artificiais: Teoria e Aplicações*. LTC editora.
- Carvalho, E., Ferreira, B., Ferreira, J., de Souza, C., Carvalho, H., Suhara, Y., Pentland, A., and Pessin, G. (2017). Exploiting the use of recurrent neural networks for driver behavior profiling. *International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)*.
- Cetapis-Ufersa (2017). *Sem Abelha Sem Alimento*. www.semabelhasemalimento.com.br.
- D. Bahdanau, K. C. and Bengio, Y. (2014). Neural machine translation by jointly learning to align and translate. *ICLR*.
- de Souza, P., Williams, R., Quarrelld, S., Budi, S., Susanto, F., Vincent, B., Allend, G., and Almeida, A. (2017). Agent-based modeling of honey bee forager flight behaviour for swarm sensing applications. *Environmental Modelling and Software (under review)*.
- Façal, B. S., Pessin, G., Pereira, G., Carvalho, A. P. L. F., Gomes, P. H., and Ueyama, J. (2016). Fine-tuning of uav control rules for spraying pesticides on crop fields: An approach for dynamic environments. *International Journal on Artificial Intelligence Tools*.
- Furquim, G., Pessin, G., Façal, B. S., Mendiondo, E. M., and Ueyama, J. (2015). Improving the accuracy of a flood forecasting model by means of machine learning and chaos theory. *Neural Computing and Applications*, 27:1129–1141.
- Goodfellow, I., Bengio, Y., and Courville, A. (2016). *Deep Learning*. MIT Press. <http://www.deeplearningbook.org>.
- Gullan, P. J. and Cranston, P. S. (2008). *Os insetos: um resumo entomológico. Tradução de Sonia Hoenen*. Roca.

- Hochreiter, S. and Schmidhuber, J. (1997). Long short-term memory. *Neural computation*, 9(8):1735–1780.
- JS Pettis, E. L., Andree, M., Stitzinger, J., Rose, R., and vanEngelsdorp, D. (2013). Crop pollination exposes honey bees to pesticides which alters their susceptibility to the gut pathogen nosema ceranae. *PLoS ONE*.
- Junyoung Chung, Caglar Gulcehre, K. C. and Bengio, Y. (2014). Empirical evaluation of gated recurrent neural networks on sequence modeling. *NIPS 2014 Deep Learning and Representation Learning Workshop*.
- Martens, J. and Sutskever, I. (2011). Learning recurrent neural networks with hessian-free optimization. *International Conference on Machine Learning, Bellevue, WA, USA*, (28).
- Message, D., Teixeira, E. W., and Jong, D. D. (2012). *Polinizadores no Brasil: Contribuição e Perspectivas para a Biodiversidade, Uso Sustentável, Conservação e Serviços Ambientais*.
- Potts, S. G., Roberts, S. P. M., Dean, R., Marris, G., Brown, M., Jones, R., and Settele, J. (2009). Declines of managed honey bees and beekeepers in europe. *Journal of Apicultural Research*, (49):15–22.
- Robinson, A. J. and Fallside (1987). *The utility driven dynamic error propagation network*. Cambridge University Engineering Department.
- Rumelhart, D., Hinton, G., and Williams, R. (1986). Learning representations by back-propagating errors. *Nature*, 323:533–536.
- Schwager, M., Anderson, D. M., Butler, Z., and Rus, D. (2006). Robust classification of animal tracking data. *Computers and Electronics in Agriculture*, 56 (2007):46–59.
- Werbos, P. J. (1987). Generalization of backpropagation with application to a recurrent gas market model.

Previsão de precipitações utilizando a técnica de previsão por conjuntos e um algoritmo baseado no vizinho mais próximo.

Márcio Francisco Dutra e Campos¹, Maury Meirelles Gouvêa Júnior²

¹Departamento de Engenharia de Computação e Automação Industrial
FEEC – Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)
Caixa-postal: 6101 – CEP: 13083-852 – Campinas, SP – Brazil.

²Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC MINAS) – BH, MG – Brasil
marciocampos@pucminas.br, maury@pucminas.br

Abstract. *This work presents a precipitation forecasting method that uses the stochastic approach of ensemble forecasting and the nearest neighbor technique (KNN) to select, among several candidate probability distributions, those that best adhere to observed data. The research uses the historical series of hydrological data made available by the National Water Agency (ANA). The preliminary results show that the proposed method generates predictions that are, at least, comparable to several regression methods.*

Resumo. *Este trabalho apresenta um método de previsão de precipitações que utiliza a abordagem estocástica de previsão por conjuntos (ensembles) e a técnica do vizinho mais próximo (KNN) para selecionar, entre várias distribuições de probabilidades candidatas, aquelas que melhor aderem aos dados observados. A pesquisa utiliza as séries históricas de dados hidrológicos disponibilizados pela Agência Nacional de Águas (ANA). Os resultados preliminares mostram que o método proposto gera previsões que são, pelo menos, comparáveis a diversos métodos de regressão.*

1. Introdução

Realizar previsões a respeito do comportamento do clima (possibilidade de chuva, temperaturas mínimas e máximas, índice de radiação ultravioleta, umidade relativa do ar, etc) e das bacias hidrográficas (vazão, secas, inundações, entre outras) é de suma importância para o planejamento urbano e para várias atividades econômicas.

Os impactos das intempéries da natureza precisam ser medidos e, se possível, previstos, para evitar danos irreparáveis às pessoas, ao patrimônio e às finanças públicas. Por outro lado, é difícil fazer um planejamento, ou prognóstico, de médio ou longo prazo sem considerar os impactos das mudanças climáticas (em sentido amplo) localizadas.

Realizar previsões hidrológicas confiáveis é de extrema relevância, na medida em que a antecipação de eventos extremos permite, entre outras coisas, a emissão de alertas, a tomada de decisão na operação de obras hidráulicas, a execução de planos de reposta a emergências, a otimização do uso de recursos hídricos [Fan et al., 2015].

A Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) possui inúmeros cursos de água. A distribuição destes cursos de água e o relevo da região favorece, no período das chuvas, a formação de enchentes; por outro lado, no período de seca, o que se tem observado nos últimos anos é o decréscimo dos níveis dos reservatórios a valores críticos, exigindo, inclusive, estudos para implantação de políticas de racionamento. Neste contexto, a previsão de eventos severos, inundações ou secas, é fundamental para qualquer planejamento de médio ou longo prazo na região.

Este trabalho propõe um modelo/método de previsão de precipitações que utiliza a abordagem estocástica de previsão por conjuntos e a técnica do vizinho mais próximo (KNN) para selecionar, entre diversas distribuições de probabilidade candidatas, aquelas que serão utilizadas para prever a precipitação de cada mês do ano.

A pesquisa se justifica na medida em que contribui para o reconhecimento dos fenômenos hidrológicos extremos que perturbam a RMBH permitindo, assim, um melhor planejamento das atividades econômicas e uma melhor proteção da população.

Este trabalho está organizado da seguinte forma: no capítulo 2 é feita uma breve revisão de modelos e métodos utilizados em hidrologia e de trabalhos relacionados; no capítulo 3 é realizada a análise exploratória dos dados e o algoritmo de previsão por conjuntos usando a técnica KNN é apresentado; no capítulo 4 os resultados obtidos são analisados; e, no capítulo 5, a conclusão e trabalhos futuros são apresentados.

2. Modelos e Métodos Utilizados em Hidrologia

Tanto a hidrologia quanto a meteorologia fazem uso intensivo de ferramentas matemático-computacionais para organizar, resumir e analisar a imensa quantidade de dados climatológicos, atuais e históricos, que são utilizados para prever as condições atuais e futuras do tempo, bem como para modelar e simular os fenômenos físico-químicos que determinam o seu comportamento.

A hidrologia, especificamente, vem, há muitos anos, procurando respostas satisfatórias para os diversos fenômenos hidrológicos, através de modelos conceituais, numéricos e de simulações [Todini, 2007]. Diversas técnicas têm sido utilizadas para prever o comportamento dos fenômenos hidrológicos, sendo que as mais relevantes são os métodos numéricos, os métodos estatísticos e os métodos de inteligência artificial.

Previsões hidrológicas geralmente são feitas com precisão de poucos dias, pois lidam com sistemas dinâmicos considerados caóticos. Ou seja, nestas previsões, o futuro possui um horizonte bem curto. Entretanto, a previsão de eventos extremos, como secas e inundações, exige um horizonte temporal maior e, portanto, de métodos específicos, para que se possa fazer um planejamento hídrico de médio e o longo prazo satisfatório.

Os modelos hidrológicos podem ser caracterizados da seguinte forma: os modelos contínuos simulam o ciclo da água completo e, os discretos, apenas partes do ciclo; os modelos agregados consideram a bacia hidrológica como um único elemento e, os distribuídos, a subdivide em elementos menores; os modelos empíricos utilizam equações de transformação de estado experimentais e, os conceituais, modelos abstratos; os modelos determinísticos utilizam uma sequência de dados históricos e, os estocásticos, dados sintetizados. Este trabalho utiliza um modelo discreto, distribuído, empírico e estocástico.

2.1. Métodos de Previsão em Hidrologia

Diferentes métodos podem ser utilizados para prever eventos hidrológicos, dependendo da experiência do hidrologista, da informação disponível, do nível de dificuldade que a previsão apresenta e do grau de precisão necessária na previsão. Duas abordagens muito utilizadas na previsão hidrológica são os métodos numéricos e os estatísticos. Os numéricos simulam modelos dinâmicos da atmosfera e, os estatísticos, tentam prever o comportamento dinâmico do sistema baseado nas informações passadas.

Os métodos numéricos apresentam alguns pontos fracos como, por exemplo, a imprecisão das equações utilizadas nos modelos, a ausência de dados iniciais de áreas de difícil observação, como montanhas e oceanos, e a necessidade de interpretação dos resultados por um meteorologista experiente.

2.2. Previsão por Conjuntos (Ensembles)

Evidências mostram que a frequência de eventos hidrológicos extremos irá aumentar nos próximos anos. Entretanto, a precisão dos métodos existentes de estimativa de inundação [Sraj et al., 2016] e de estiagem [Mishra & Desai, 2005] estão diminuído. Isto acontece porque as previsões hidrológicas são, geralmente, feitas com informações incompletas e incertas das variáveis de interesse, haja vista que qualquer medição hidroclimática, realizada por sensores, tem uma incerteza associada – além de não existir uma técnica de medição perfeita, sensores produzem erros sistemáticos e aleatórios [García-Marín et al., 2014].

Uma forma de considerar estas incertezas é o uso de previsões probabilísticas por conjuntos (*ensembles*), em que são gerados diversos cenários futuros possíveis, com o objetivo de quantificar as incertezas envolvidas no processo [Fan et al., 2015]. Na previsão por conjuntos, diferentes parametrizações, diferentes condições iniciais ou, ainda, diferentes modelos, são usados para gerar um conjunto de previsões tal que, cada um dos seus membros, representa uma possível trajetória do processo ao longo do horizonte de previsão (cenários equiprováveis) [Fan et al., 2015].

2.3. Trabalhos Relacionados

Caldeira et al. (2015) analisou o ajuste de diferentes modelos probabilísticos a séries de precipitação máxima diária anual no Rio Grande do Sul. As séries pluviométricas foram ajustadas às distribuições Log-Normal e Gumbel e a adequação verificada pelos testes de Kolmogorov-Smirnov e Qui-Quadrado. Franco et al. (2014) identificou, dentre as distribuições Gumbel, Gama e Generalizada de Valores Extremos, qual a mais indicada para aplicação às séries históricas de precipitação máxima diária anual na bacia hidrográfica do rio Verde, no Sul de Minas Gerais.

Para lidar com a incertezas das variáveis hidrológicas, Taillardat et al. (2016) propôs um método estatístico não paramétrico para pós-processamento de conjuntos (*ensembles*), baseado em florestas de regressão de quantil (QRF), para estimativa dos quantis desejados. Com este mesmo objetivo, Scheuerer (2014) apresentou um método de pós-processamento de conjunto (*ensembles*) em que a precipitação é modelada utilizando uma distribuição de valores extremos generalizada, que permite incorporar informações de vizinhança para melhorar o seu desempenho.

3. Metodologia

3.1. Considerações Iniciais

A hidrologia de uma região depende, em primeiro lugar, do seu clima, o que implica na necessidade de conhecer os processos meteorológicos que o determinam. Entre estes, a chuva se destaca como grandeza fundamental no equilíbrio da água. A complexidade dos processos naturais e o desconhecimento das causas que determinam eventos climáticos tem forçado a renunciar aos estudos analíticos e a usar as séries temporais de sucessivas observações de tais fenômenos [García-Marín et al., 2014].

Se a trajetória de uma variável é conhecida, pelos seus próprios fundamentos físicos, conceitos probabilísticos não precisam ser utilizados para a sua caracterização, mas, se não é este o caso, é preciso estimar não apenas o seu valor esperado mas, também, a sua função de densidade de probabilidade (pdf) [Todini, 2007].

O uso de distribuições estatísticas adequadas aos eventos hidrológicos extremos podem ser considerados ferramentas imprescindíveis para se obter uma gestão eficiente dos recursos hídricos, principalmente diante do aumento da demanda de água e o aumento das atividade em pequenas e medias bacias hidrográficas [Souza et al., 2012].

3.2. Análise Exploratória dos Dados

Este trabalho utiliza a série histórica de precipitações mensais da estação pluviométrica de Ponte Nova do Paraopeba, localizada no município de Juatuba/MG, que fica na RMBH. Trata-se de um registro completo de precipitações, com mais de 70 anos de observações. Para este trabalho, foram utilizados os dados correspondentes ao período de 01/01/1946 até 31/12/2015 (70 anos de observações), apresentados na Figura 1.

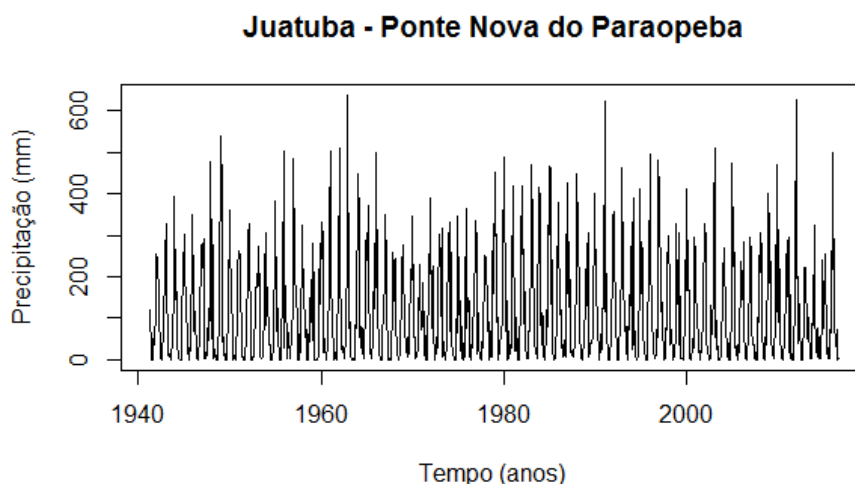


Figura 1 – Precipitações observadas em Ponte Nova do Paraopeba

A Figura 2 mostra o gráfico de barras e o *boxplot* da distribuição mensal de precipitação, por ano hidrológico (que começa em outubro de um ano e termina em setembro do próximo ano). A dispersão dos dados verificada nesta figura já sugere o tipo de distribuição de probabilidades que poderia ser ajustada para as precipitações.

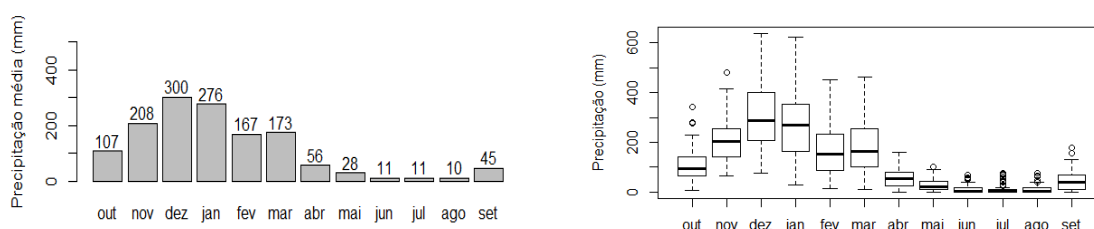


Figura 2 – Precipitação mensal media em Ponte Nova do Paraopeba

3.3. Método e Algoritmo Proposto

O método proposto neste trabalho é baseado no algoritmo estocástico desenvolvido por Nowak et al. (2010) para desagregação de vazões anuais em vazões diárias. Mas, diferente do algoritmo de Nowak, que utiliza a técnica de descoberta do vizinho mais próximo proposto por Lall & Sharma (1996) para gerar séries sintéticas em escalas menores (obtenção de dados diários a partir de dados anuais), o algoritmo aqui proposto modifica a mesma técnica para, entre várias distribuições de probabilidade candidatas, selecionar aquelas que melhor representam os dados e, a partir, delas fazer uma previsão por conjuntos. O algoritmo pode ser descrito da seguinte forma:

Passo 1: Como se trata de um processo estocástico, os dados históricos observados correspondem a uma única trajetória do sistema, sendo certo que, a partir destes dados, não é possível determinar com precisão a função de distribuição de probabilidades que melhor representa o sistema. Sendo assim, e para que se possa fazer uma previsão por conjuntos, para as precipitações observadas em cada mês são ajustadas N distribuições de probabilidades candidatas.

Passo 2: Uma vez ajustadas as N distribuições de probabilidades, as candidatas mais próximas (K vizinhos mais próximos) são identificados da seguinte forma: para cada distribuição de probabilidade candidata é gerada uma trajetória e calculado a correlação entre esta trajetória e os dados históricos. A ideia é que, quanto mais forte correlação entre a distribuição ajustada e a observação histórica, melhor é a representatividade da distribuição, tornando-a uma forte candidata. O número de vizinhos (candidatas) mais próximos é dado por $K = \sqrt{N}$, conforme heurística proposta por Lall & Sharma [1996] que, segundo estes autores, é muito eficaz em uma variedade de aplicações.

Passo 3: Para cada um dos K vizinhos mais próximos determinados no passo anterior é atribuído um peso baseado na função proposta por Lall e Sharma [3], dada por

$$W(i) = \frac{1}{i} / \sum_{i=1}^k \frac{1}{i}$$

onde K é o número de vizinhos mais próximos e i refere-se ao "índice vizinho", sendo que $i = 1$ é o vizinho mais próximo e assim por diante. Observe que, na equação acima, os pesos são normalizados de modo que somem uma unidade.

Passo 4: De posse dos K vizinhos mais próximos (melhores distribuições candidatas) e de seus respectivos pesos, a série de precipitações futuras é gerada, utilizando a previsão por conjuntos, da seguinte forma

$$S = T_1W_1 + T_2W_2 + \dots + T_NW_N,$$

em que T_i representa uma trajetória da candidate i , W_i é o seu peso e “+” é um operador de agregação, que não precisa ser, necessariamente, a soma.

4. Resultados e Discussão

Neste estudo preliminar, que tem por objetivo mostrar a viabilidade do algoritmo proposto, foram ajustadas cinco distribuições de probabilidade, cujas características podem ser encontradas em [Naghetini & Pinto, 2007], para as precipitações de Ponte Nova do Paraopeba: Exponencial, Gamma, Gumbel, Normal e Weibull.

Para ilustrar, a Figura 3 mostra 70 observações para cada mês das distribuições Gamma e Gumbel em relação a media mensal dos dados observados (correspondente a 70 anos). A Tabela 1 apresenta os resultados de ajuste das cinco distribuições candidatas para os meses de dezembro e julho (meses que apresentaram condições extremas) e, a Figura 4, mostra a dispersão das distribuições candidatas em relação aos dados observados para estes dois meses.

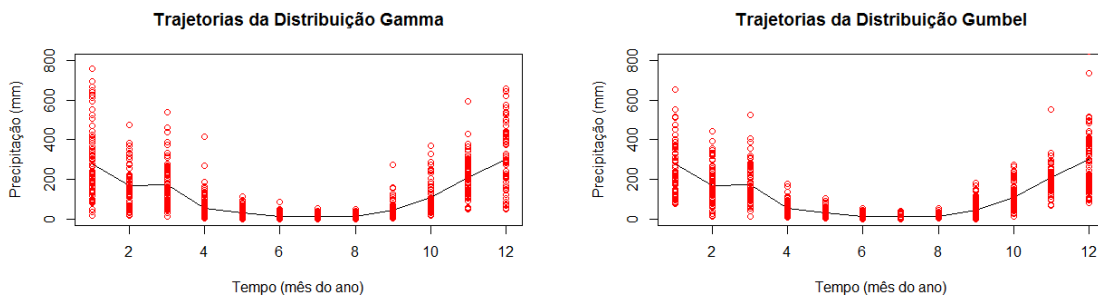


Figura 3 – Exemplos de resultados obtidos com as distribuições Gamma e Gumbel.

Tabela 1 – Resultados dos ajustes das distribuições para meses extremos.

Mês	Resultados dos ajustes				
Dezembro	Goodness-of-fit statistics				
		Gamma	Gumbel	Weibull	Normal Exponential
	Kolmogorov-Smirnov statistic	0.06766349	0.07154201	0.06388267	0.08516653 0.3031188
	Cramer-von Mises statistic	0.04820282	0.05390731	0.03464616	0.06866842 2.0505039
	Anderson-Darling statistic	0.32993354	0.37254978	0.22800891	0.43106267 10.5725358
	Goodness-of-fit criteria				
		Gamma	Gumbel	Weibull	Normal Exponential
	Akaike's Information Criterion	876.6719	878.282	875.4924	879.2161 940.5455
	Bayesian Information Criterion	881.1689	882.779	879.9893	883.7131 942.7940
	Julho	Goodness-of-fit statistics			
		Gamma	Gumbel	Weibull	Normal Exponential
Kolmogorov-Smirnov statistic		0.4965571	0.2930485	0.4965571	0.2934709 0.4965571
Cramer-von Mises statistic		5.0848553	1.8487063	5.0848553	2.2320688 5.0848552
Anderson-Darling statistic		Inf	10.8470007	Inf	11.4511206 Inf
Goodness-of-fit criteria					
		Gamma	Gumbel	Weibull	Normal Exponential
Akaike's Information Criterion		473.8197	562.8927	473.8197	616.6062 471.8197
Bayesian Information Criterion		478.3167	567.3897	478.3167	621.1032 474.0682

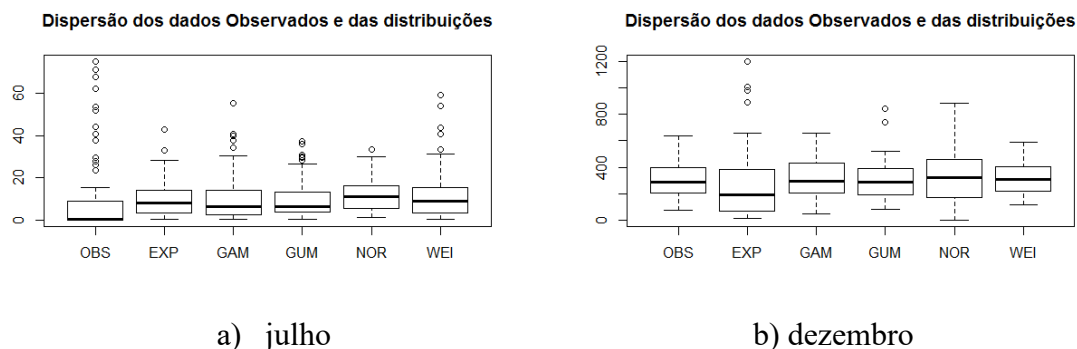


Figura 4 – Dispersão das distribuições para os meses de a) julho e b) dezembro.

O algoritmo proposto foi implementado em R (<https://cran.r-project.org/>), utilizando os diversos pacotes disponíveis para este *software*, entre os quais merecem destaque os seguintes: *actual*, *e1071*, *fitdistrplus*, *forecast*, *nnet*, *QRM* e *randomForest*.

A série histórica de 70 anos de precipitações (840 meses) foi dividida em uma série de treinamento de 60 anos (720 meses) e uma série testes de 10 anos (120 meses). Os resultados obtidos com o algoritmo proposto foram comparados com resultados obtidos pelas seguintes técnicas, que também estão implementadas no ambiente R: *Generalized Linear Models (GLM)*, *Support Vector Machines (SVM)*, *Random Forest (randomForest)* e *Neural Networks (NNET)*.

4.1. Análise Qualitativa dos Resultados

Foram feitos experimentos qualitativos com o intuito de validar o algoritmo proposto para, posteriormente, fazer os refinamentos necessários. Portanto, na sequência, serão apresentados apenas resultados qualitativos, haja vista que será necessário investir muito tempo e esforço computacional para apresentar resultados quantitativos relevantes.

A Tabela 2 mostra os resultados da escolha dos vizinhos mais próximos (distribuições candidatas) após uma rodada de execução do algoritmo. Os resultados estão dentro dos esperados, com as distribuições Gamma, Gumbel e Weibull, que reconhecidamente representam fenômenos hidrológicos [Naghettini & Pinto, 2007], aparecendo em primeiro lugar.

Tabela 2 – Distribuições selecionadas para cada mês

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1	GAM	GAM	WEI	NOR	GAM	GUM	GUM	EXP	EXP	GUM	WEI	WEI
2	EXP	EXP	EXP	EXP	EXP	GAM	WEI	NOR	GAM	NOR	GUM	EXP
3	NOR	NOR	NOR	GAM	NOR	NOR	NOR	GAM	WEI	WEI	NOR	GUM

A Figura 05 mostra, à esquerda, os dados de precipitação observados e, à direita, os dados obtidos na previsão por conjuntos (por ano hidrológico). É possível observar, graficamente, que as precipitações previstas seguem o mesmo comportamento, no que se refere à distribuição de probabilidades, dos dados observados (conjunto de teste), inclusive em relação a máximos, mínimos e assimetria.

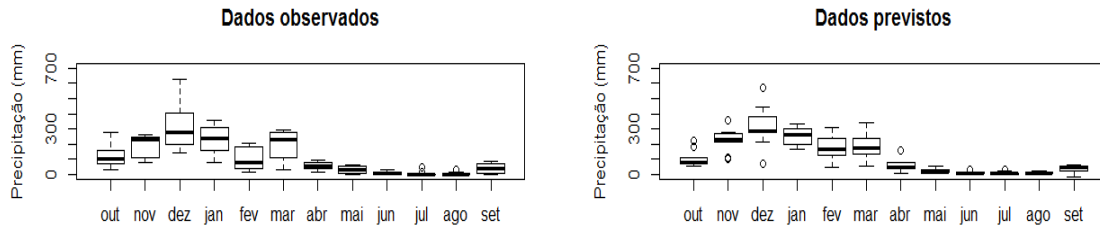
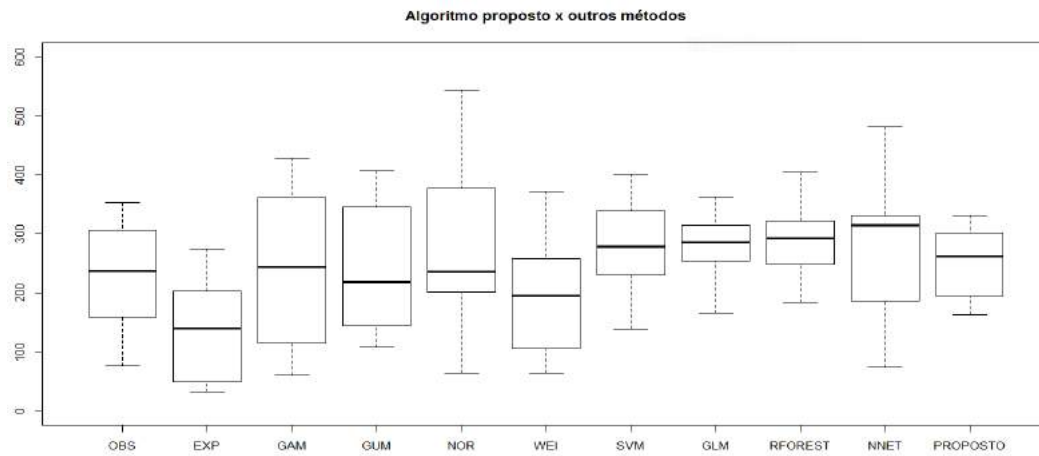
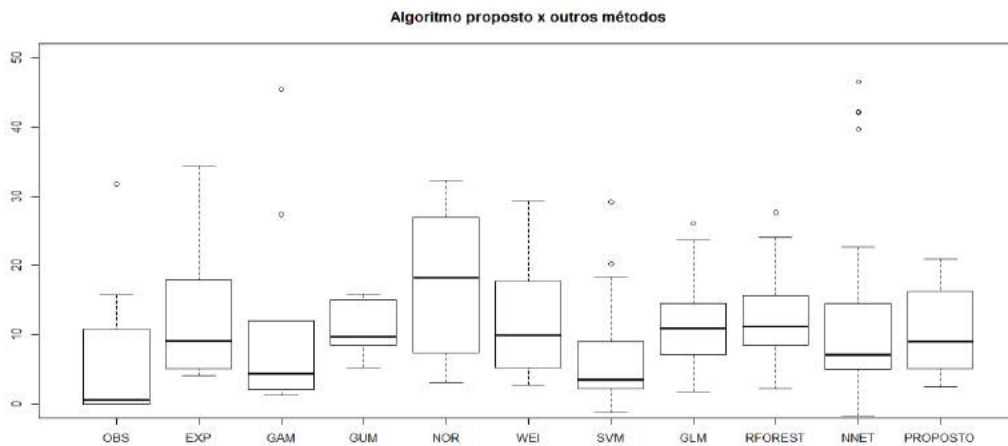


Figura 5 – Dados observados e dados obtidos na previsão por conjuntos

A Figura 6 mostra o resultado das previsões feitas, para os meses de janeiro e agosto, com o algoritmo proposto em comparação com os dados observados (OBS) e as previsões feitas pelas distribuições Exponencial (EXP), Gamma (GAM), Gumbel (GUM), Normal (NOR), Weibull (WEI) e pelos métodos de regressão linear *Support Vector Machine* (SVM), *Generalized Linear Model* (GLM), *RandomForest* (RFO) e Redes Neurais (NNET).



a) previsões para o mês de janeiro



b) previsões para o mês de agosto

Figura 6 – Comparação do algoritmo proposto com outros métodos

No geral, a análise qualitativa (gráfica) feita para os demais meses mostra que o algoritmo proposto gera uma distribuição de probabilidades que se aproxima bastante dos dados observados, apresentado resultados que se comparam ao método SVM.

5. Conclusão e Trabalhos Futuros

Este artigo apresentou um novo algoritmo para previsão de precipitações, baseado em previsões por conjuntos (*ensembles*) e que utiliza a técnica do vizinho mais próximo (KNN) para selecionar, entre várias distribuições de probabilidade, aquelas com melhor aderência aos dados históricos observados.

Foram utilizados os dados de precipitação da estação pluviométrica de Ponte Nova do Paraopeba, que fica em Juatuba, Região Metropolitana de Belo Horizonte. O algoritmo foi implementado utilizando o ambiente de programação R, com seus diversos pacotes. Os resultados preliminares mostraram que o algoritmo é capaz de gerar previsões com qualidade comparável a outros métodos, notadamente o SVM, GLM, randomForest e NNET.

Trata-se de uma pesquisa em estágio embrionário e, por isso, foram apresentados apenas resultados qualitativos que demonstram a viabilidade do algoritmo proposto. Na próxima fase, serão testados, quantitativamente, o desempenho e a eficácia do algoritmo proposto em relação aos demais métodos de previsão que foram utilizados.

Em trabalhos futuros, pretende-se, ainda, realizar as seguintes melhorias no algoritmo: no Passo 2, utilizar a Simulação de Monte Carlo para melhorar o cálculo da correlação entre as distribuições de probabilidades candidatas e os dados observados; no Passo 3, propor novas métricas para a determinação dos vizinhos mais próximos; e, no Passo 4, melhorar a previsão por conjuntos, o que poderá ser feito alterando o operador de agregação utilizado e, também, utilizando a Simulação de Monte Carlo, como propõe o trabalho Kottegoda (2014).

Agradecimentos

Ao Fundo Incentivo à Pesquisa e ao Programa Permanente de Capacitação Docente, da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC Minas) pelo apoio dado através dos projetos FIP-2016/11052-2S e PPCD-Nº099/2015.

Referências

- Andrade, M. A., Mello, C. D., & Beskow, S. (2013). Simulação hidrológica em uma bacia hidrográfica representativa dos Latossolos na região Alto Rio Grande, MG. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 17(1), 69-76.
- Caldeira, T. L., Beskow, S., de Mello, C. R., Faria, L. C., de Souza, M. R., & Guedes, H. A. (2015). Modelagem probabilística de eventos de precipitação extrema no estado do Rio Grande do Sul. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, 19(3), 197-203.
- Fan, F. M., Ramos, M.-H., & Collischonn, W. (2015). Sobre o uso de previsões hidrológicas probabilísticas para tomada de decisão. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 20(4), 914-926.

- Franco, C. S., Marques, R. F., Oliveira, A. S., & de Oliveira, L. F. (2014). Distribuição de probabilidades para precipitação máxima diária na Bacia Hidrográfica do Rio Verde, Minas Gerais. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi*, 18(7).
- García-Marín, A., Roldán-Cañas, J., Estévez, J., Moreno-Pérez, F., Serrat-Capdevila, A., González, J., ... & Giráldez, J. V. (2014). La hidrología y su papel en ingeniería del agua. *Ingeniería del agua*, 18(1), 1-14.
- Kottegoda, N. T., Natale, L., & Raiteri, E. (2014). Monte Carlo Simulation of rainfall hyetographs for analysis and design. *Journal of Hydrology*, 519, 1-11.
- Lall, Upmanu, and Ashish Sharma. "A nearest neighbor bootstrap for resampling hydrologic time series." *Water Resources Research* 32.3 (1996): 679-693.
- Mishra, A. K., & Desai, V. R. (2005). Drought forecasting using stochastic models. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 19(5), 326–339. doi:10.1007/s00477-005-0238-4
- Naghetini, M. & Pinto, É. J. D. A. (2007). *Hidrologia Estatística*. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), 552 p.
- Nowak, K., Prairie, J., Rajagopalan, B., & Lall, U. (2010). A nonparametric stochastic approach for multisite disaggregation of annual to daily streamflow. *Water Resources Research*, 46(8).
- Souza, F. A. O. De, Silva, C. L. Da, Maggiotto, S. R., & Oliveira Júnior, M. P. De. (2012). Caracterização das vazões em uma pequena bacia hidrográfica do Distrito Federal, Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola E Ambiental*, 16(1), 10–17. doi:10.1590/S1415-43662012000100002
- Scheuerer, M. (2014). Probabilistic quantitative precipitation forecasting using ensemble model output statistics. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 140(680), 1086-1096.
- Sraj, M., Viglione, A., Parajka, J., & Blöschl, G. (2016). The influence of non-stationarity in extreme hydrological events on flood frequency estimation. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 64(4), 426–437. doi:10.1515/johh-2016-0032
- Taillardat, M., Mestre, O., Zamo, M., & Naveau, P. (2016). Calibrated ensemble forecasts using quantile regression forests and ensemble model output statistics. *Monthly Weather Review*, 144(6), 2375-2393.
- Todini, E. (2007). Hydrological catchment modelling: past, present and future. *Hydrological Earth System Science*, 11(1), 468–482. doi:10.5194/hess-11-468-2007

9º SBCUP - Simpósio Brasileiro de Computação Ubíqua e Pervasiva

Apresentação

É com grande satisfação que damos as boas vindas aos participantes do IX Simpósio Brasileiro de Computação Ubíqua e Pervasiva (SBCUP 2017). Como já é tradicional, o evento ocorrerá de forma integrada ao Congresso da Sociedade Brasileira de Computação.

A Computação Ubíqua e Pervasiva, em seus vários desdobramentos e aplicações, é considerada por muitos como o novo paradigma da Computação para o século XXI, o qual permitirá o acoplamento do mundo físico ao mundo da informação e fornecerá uma abundância de serviços e aplicações, permitindo que usuários, máquinas, dados, aplicações e objetos do espaço físico interajam uns com os outros de forma transparente. Para se construir o cenário visualizado de forma pioneira por Mark Weiser, são necessários esforços de pesquisa multidisciplinares, envolvendo praticamente todas as áreas da Computação: sistemas distribuídos, sistemas móveis, redes de computadores, engenharia de software, entre outras. A Computação Ubíqua e Pervasiva é considerada um dos grandes desafios da pesquisa em Computação pela National Science Foundation (NSF) e seu escopo de aplicação vem crescendo muito nos últimos anos, uma vez que o uso de tecnologia e computação está cada vez mais presente e transparente no dia-a-dia dos cidadãos.

O IX SBCUP, evento satélite do CSBC 2017, é um fórum dedicado à apresentação e discussão de resultados de pesquisa na área de Computação Ubíqua e Pervasiva em âmbito nacional. O principal objetivo é reunir a comunidade que desenvolve trabalhos relacionados com os temas de interesse do simpósio e estimular a discussão dos desafios que esta área traz ao propor um ambiente computacional futuro e onipresente. Nesta nona edição, a comunidade enviou 39 artigos, um número excelente, se considerarmos a crise econômica de 2017. O Comitê de Programa foi formado por 64 pesquisadores que realizaram a avaliação dos artigos submetidos. Cada artigo recebeu em média 3 avaliações independentes, sendo que no final do processo de avaliação tivemos ao todo 129 revisões, com 18 artigos classificados para publicação e apresentação no evento, representando uma taxa de aceitação de 46%. Para que fosse realizado um processo de revisão transparente dos artigos submetidos por autores que participaram da organização do evento, a organização indicou um membro sênior do TPC, o qual realizou a distribuição desses artigos para revisores anônimos sem conflito de interesse. Também irão compor a programação duas palestras de grande significado para a comunidade do SBCUP, a serem proferidas pelos professores Cristiano André da Costa (Unisinos) e Fabio Kon (USP).

Queremos apresentar nosso agradecimento aos integrantes do Comitê de Programa e aos Revisores Convidados. Sabemos do elevado esforço que está associado à realização de avaliações com critério, seriedade e zelo. Registramos, também, o apoio constante do Comitê Organizador do CSBC 2017 nas diversas atividades inerentes ao SBCUP 2017. Nosso sincero agradecimento pela rapidez e dedicação como foram tratadas as diferentes demandas de planejamento.

Por fim, nosso agradecimento aos autores por sua inestimável contribuição, seja pela submissão de artigos qualificados, seja pela participação apresentando e discutindo trabalhos. Desejamos a todos, alegres e produtivos dias em São Paulo, a pujante terra da garoa.

Raquel Aparecida de Freitas Mini (PUC Minas), Adenauer Corrêa Yamin (UCPEL/UFPEL), Ana Grasielle Dionísio Corrêa (Mackenzie), Leandro Aparecido Villas (UNICAMP), Rodrigo da Rosa Righi (UNISINOS)

Comitê Organizador

Coordenação Geral

Raquel Aparecida de Freitas Mini (PUC Minas), Adenauer Corrêa Yamin
(UCPEL/UFPEL)

Coordenação Local

Ana Grasielle Dionísio Corrêa (Mackenzie)

Comitê de Programa

Adenauer Yamin (Universidades Católica e Federal de Pelotas), Ana Marilza Pernas (Universidade Federal de Pelotas), André Aquino (Universidade Federal de Alagoas), Angelo Perkusich (Universidade Federal de Campina Grande), Antonio Alfredo Ferreira Loureiro (Universidade Federal de Minas Gerais), Atslands Rocha (Universidade Federal do Ceará), Augusto Neto (Universidade Federal do Rio Grande do Norte), Bruno Kimura (Universidade Federal de São Paulo), Bruno Silvestre (Universidade Federal de Goiás), Carlos Ferraz (Universidade Federal de Pernambuco), Carlos Kamienski (Universidade Federal do ABC), Carlos Mauricio Figueiredo (Universidade do Estado do Amazonas), Claudio Geyer (Universidade Federal do Rio Grande do Sul), Cristiano Costa (Universidade do Vale do Rio dos Sinos), Cristiano Silva (Universidade Federal de São João del Rei), Daniel Fernandes Macedo (Universidade Federal de Minas Gerais), Daniel Guidoni (Universidade Federal de São João del Rei), Danielo G. Gomes (Universidade Federal do Ceará), Eduardo Cerqueira (Universidade Federal do Pará), Eduardo Nakamura (Universidade Federal do Amazonas), Fabio Costa (Universidade Federal de Goiás), Felipe Cunha (Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais), Flavia Delicato (Universidade Federal do Rio de Janeiro), Francisco Silva (Universidade Federal do Maranhão), Frederico Lopes (Universidade Federal do Rio Grande do Norte), Giovani Rubert Librelotto (Universidade Federal de Santa Maria), Heitor Ramos (Universidade Federal de Alagoas), Horácio Oliveira (Universidade Federal do Amazonas), Humberto Marques (Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais), Hyggo Almeida (Universidade Federal de Campina Grande), Iara Augustin (Universidade Federal de Santa Maria), Iwens Sene Jr (Universidade Federal de Goiás), Jó Ueyama (Universidade de São Paulo), João Carlos Lima (Universidade Federal de Santa Maria), Joel Rodrigues (Instituto de Telecomunicações (University of Beira interior), Jorge Barbosa (Universidade do Vale do Rio dos Sinos), Jorge Sá Silva (Universidade de Coimbra), Kiev Gama (Universidade Federal de Pernambuco), Leandro de Sales (Universidade Federal de Alagoas), Leandro Silva (Universidade Federal de Alagoas), Leandro Villas (Universidade Estadual de Campinas), Lisandro Zambenedetti Granville (Universidade Federal do Rio Grande do Sul), Luiz Fernando Bittencourt (Universidade Estadual de Campinas), Luiz Henrique Correia (Universidade Federal de Lavras), Mario Dantas (Universidade Federal de Santa Catarina), Michele Nogueira (Universidade Federal do Paraná), Orlando Loques (Universidade Federal Fluminense), Patricia Dockhorn Costa (Universidade Federal do Espírito Santo), Patrícia Tedesco (Universidade Federal de Pernambuco), Raquel Mini (Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais), Ricardo Neisse (IPSC - Joint Research Center), Rodrigo Righi (Universidade do Vale do Rio dos Sinos), Roseclea

Medina (Universidade Federal de Santa Maria), Rossana Andrade (Universidade Federal do Ceará), Thiago Silva (Universidade Tecnológica Federal do Paraná), Vaninha Vieira (Universidade Federal da Bahia), Wanderley Lopes de Souza (Universidade Federal de São Carlos)

Coordenação do Comitê de Programa

Leandro Aparecido Villas (Unicamp), Rodrigo da Rosa Righi (Unisinos)

Palestras

Tendências na área de computação móvel e ubíqua aplicada a saúde

Prof. Dr. Cristiano André da Costa (Universidade do Vale do Rio Dos Sinos, Unisinos, São Leopoldo, RS)

Os avanços na área de computação móvel e ubíqua começam a impactar significativamente a área da saúde. Nos próximos anos viveremos grandes transformações advindas da popularização dos smartphones, acesso ubíquo à Internet e também do uso em grande escala dos wearables (sensores vestíveis). Aliado a isso, a tecnologia tem permitido cada vez mais o aumento na precisão dos diagnósticos aliado a redução de custos. Tudo isso colabora para um cenário de forte transformação na área da saúde impactada pelos avanços tecnológicos que vem sendo desenvolvidos em nível mundial.

Bio: Cristiano André da Costa é professor Titular da Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Unisinos, e Bolsista de Produtividade do CNPq, atuando no ensino superior desde 1997. Na Unisinos é pesquisador do Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada (PIPICA) na linha de pesquisa de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos. Possui graduação em Ciência da Computação pela Universidade Católica de Pelotas - UCPEL (1994), mestrado em Ciência da Computação pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS (1997) e doutorado em Ciência da Computação também pela UFRGS (2008). Professor da UNISINOS desde 2000, exerceu vários cargos de administração acadêmica. Recentemente, foi Coordenador do PIPICA de setembro de 2010 a janeiro de 2016. Anteriormente exerceu as funções de Gerente de Extensão (2010), Gerente do Instituto de Informática (2007~2009), Gerente da Incubadora de Empresas UNITEC (2006~2007), Coordenador do Instituto de Informática (2004~2006), Gerente Administrativo do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas (2002~2004) e Coordenador do curso de Ciência da Computação (2000~2002). Atua com foco em pesquisas aplicadas, tecnológicas e de inovação, muitas delas em parcerias com empresas da área de Tecnologia da Informação (TI). Tem experiência na área de sistemas distribuídos, com ênfase em computação móvel e ubíqua. Atua principalmente nos seguintes temas: computação ubíqua / pervasiva, computação móvel, ciência de contexto, sistemas distribuídos, computação em nuvem, Internet das Coisas, processamento de alto desempenho e aplicações na área da saúde. Cristiano é membro da ACM, IEEE, IADIS e da Sociedade Brasileira de Computação (SBC).

Computação Ubíqua nas Cidades: uma chance para pesquisa de fato relevante

Prof. Dr. Fábio Kon (Universidade de São Paulo, USP, São Paulo)

A área de Cidades Inteligentes traz uma oportunidade única para cientistas da computação e pós-graduandos desenvolverem pesquisa inovadora com potencial para trazer reais benefícios para a sociedade. Resultados recentes da Ciência da Computação e tecnologias relacionadas podem contribuir para a melhoria da qualidade de vida e para a resolução de problemas nas grandes cidades modernas. Em especial, há uma série de possibilidades para contribuir para a diminuição das diferenças sociais e trazer benefícios às camadas mais desfavorecidas da população. Nesta palestra, apresentaremos uma visão geral da área e seus desafios e discutiremos como podemos direcionar nossos esforços de pesquisa para resolver problemas que realmente tragam um impacto positivo para quem precisa.

Bio: Fabio Kon é professor titular de Ciência da Computação do IME-USP, membro do Conselho da SBC, Distinguished Scientist da ACM e Editor-Chefe do SpringerOpen Journal of Internet Services and Applications. Atualmente, coordena o INCT da Internet do Futuro para Cidades Inteligentes e concentra suas pesquisas na área de Cidades Inteligentes onde vislumbra uma oportunidade para cientistas da computação desenvolverem pesquisa inovadora com potencial para trazer reais benefícios para a sociedade.

Trabalhos aceitos

Sensor Acústico para Detecção de Desmatamento Ilegal na Floresta Amazônica

Waldomiro J. G. Seabra, Juan G. Colonna, Eduardo F. Nakamura

Um Middleware para Gerenciamento de Sensores de Saúde Corporais em Dispositivos Móveis

Samuel Francisco Ferrigo, Cristiano André da Costa, Rodrigo da Rosa Righi

Compreendendo o Desempenho de Gerenciadores de Contexto para Internet das Coisas

Ivan Zyrianoff, Fabrizio Borelli, Alexandre Heideker, Gabriela Biondi, Carlos Kamienski

Algoritmo de Roteamento Assistido para Comunicação D2D em Sistemas de Segurança Pública sobre Redes LTE Avançadas

Alex Vidigal Bastos, Cristiano M. Silva, Diógenes Cecílio da Silva Júnior

Abordagem semântica para o desenvolvimento de sistemas de suporte a ambientes inteligentes inclusivos

Felipe Morine Magami, José J. Pérez-Álcazar, Fábio Nakano, Andre L. M. Silva, João S. de Oliveira Neto, Sergio T. Kofuji

Uma Abordagem Dinâmica para Descoberta de Recursos na IoT Explorando Processamento Semântico

Renato Dilli, Huberto Filho, Maurício de Azevedo, Gerson Cavalheiro, Ana Marilza Pernas, Adenauer Yamin

Uma proposta de arquitetura móvel baseada em visão computacional para pessoas com deficiência visual

Alexsander V. Canez, Gisele M. Simas, Henrique de S. Conceição, Igor P. Maurell, Jônatas D. Fraga, Mariana P. Fernandes, Marlon R. C. Franco, Matheus C. Corrêa, Regina Barwaldt, Ricardo N. Rodrigues

Outlier detection methods and sensor data fusion for precision agriculture

Andrei B. B. Torres, José Adriano Filho, Atslands R. da Rocha, Rubens Sonsol Gondim, José Neuman de Souza

The Rhadamanthys Quality of Context Architecture

Hélio Carlos Brauner Filho, Claudio Fernando Resin Geyer

Geração Automática de Código para Aplicações Móveis Centradas em Dados Suportando Diferentes Infraestruturas de Nuvem

Kellerson Kurtz, Adenauer Correa Yamin, Lisane B. Brisolara

Gerência de QoC: Uma Abordagem Direcionada ao Tratamento de Conflitos de Contexto

Lucas M. S. Xavier, Adenauer C. Yamin, Ana M. Pernas, Gerson G. H. Cavalheiro

Uma Abordagem Dataflow para Processamento Contextual na Internet das Coisas

Douglas Scheunemann, Adenauer Yamin, Renata Reiser, João Lopes, Cláudio Geyer

Qualidade de Informação de Sensores para Gerenciamento de Situações: um estudo de caso em monitoramento térmico

Allan F. F. Amaral, Matheus O. Jagi, José Gonçalves Pereira Filho, Silvana Rossetto, João L. R. Moreira

Sistema Mobile para Localização Indoor usando Tratamento de Posição e Correção de Rota

César D. Silva, Karin S. Komati, Daniel R. Trindade

Gerenciamento Térmico e Elétrico de um Centro de Dados utilizando Sensoriamento IoT

Antonio Rafael Braga, Felipe Anderson O. Maciel, Rodrigo L. A. Almeida, Paulo A. C. Aguilar, Danielo G. Gomes, Rossana M. C. Andrade

Uma arquitetura de Beacons customizáveis para Internet das Coisas

Emmanuel C. A. de Melo, Marcio E. F. Maia, Paulo A. L. Rego, Francisco H. C. S. Filho, Rossana M. C. Andrade

Uma estratégia baseada em medida de centralidade para instalação de pontos de disseminação em VANETs

Douglas L. L. Moura, Raquel S. Cabral, Thiago B. M. Sales, Andre L. L. Aquino

Uma Plataforma Escalável para Desenvolvimento de Aplicações de IoT

Jorge Pereira, Thais Batista, Flavia C. Delicato, Paulo F. Pires

Sensor Acústico para Detecção de Desmatamento Ilegal na Floresta Amazônica

Waldomiro J. G. Seabra^{1,*}, Juan G. Colonna^{1,†}, Eduardo F. Nakamura^{1,‡}

¹Instituto de Computação – Universidade Federal do Amazonas (UFAM)
Av. General Rodrigo Octávio, 6200, CEP: 69080-900, Manaus – AM – Brasil

{*wjgs, †juancolonna, ‡nakamura}@icomp.ufam.edu.br

Abstract. *In this work, we present a sound detection method of chainsaw engines to combat illegal logging into rain forests. Our approach introduces an one-class classification method able to detect only the sound of a chainsaw, rejecting all other natural and non-natural sounds, such as wind, rain, several animal calls, human speech, and boat engines. For this purpose, we chose Support Vector Data Description (SVDD) as the classification method, which creates a hypersphere around the points of the target class into the feature space. We apply then, the Wavelet transforms to process and extract the main features of the input acoustic signal in real time. The proposed method has low computational complexity, which benefits the use of sensors by saving processing and reducing battery consumption. It is shown that the method is efficient discriminating sounds of chainsaws from natural sounds (AUC = 96%), discriminating sounds of chainsaws and non-natural sounds from natural sounds (AUC = 95%), but loses efficiency when tested against non-natural sounds (AUC = 77%).*

Resumo. *Neste trabalho, apresentamos um método para detecção de sons de motosserras, com o objetivo de auxiliar no combate de extração ilegal de madeira nas florestas tropicais. Em nossa abordagem utilizamos um método de classificação de uma classe para detectar apenas o som de interesse e rejeitar todos os outros sons, sejam estes naturais ou artificiais, tais como: chuva, vento, diversas vocalizações de animais, fala humana, e motores de barcos. O método de classificação escolhido é o Support Vector Data Description (SVDD), que consiste em criar uma hipersfera ao redor dos pontos que representam a classe alvo no espaço de características acústicas. Aplicando a transformada Wavelet, para a extração das características acústicas, conseguimos processar o sinal de entrada em tempo real. Assim, o método proposto consegue processar e classificar os áudios em tempo real com baixa complexidade computacional, o que beneficia o uso de sensores por economizar processamento, reduzindo o consumo de bateria. Através dos experimentos realizados, concluímos que nossa abordagem é eficiente diferenciando sons de motosserras de sons naturais (AUC = 96%), diferenciando motosserras e sons artificiais de sons naturais (AUC = 95%), mas perde eficiência quando comparada com sons artificiais (AUC = 77%).*

1. Introdução

O desmatamento da Amazônia cresceu em ritmo acelerado nos últimos anos, colocando em risco a fauna e a flora da região [Greenpeace 2016]. Os métodos atuais para detectar

esses atos incluem o uso de imagens obtidas por Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT), imagens satelitais e fiscalização humana. Os dois primeiros são computacionalmente complexos e conseguem monitorar somente acima do nível das copas das árvores, e o terceiro é operativamente custoso e ineficiente, devido aos recursos humanos necessários.

Nós apresentamos aqui uma alternativa economicamente viável e eficiente, embarcando um modelo de classificação em sensores acústicos. Estes sensores podem ser posicionados em árvores nas bordas de áreas de proteção ambiental onde muitos dos cortes de madeira acontecem. O processamento e reconhecimento automático de áudio é uma tarefa complexa, devido a elevada riqueza acústica da floresta, na qual, os sons podem ser de origem natural (cantos de aves, chuva) ou causados pela ação humana (voz, sons de barcos). Tendo em vista esse aspecto, nosso objetivo é identificar apenas o som emitido por uma motosserra em operação, ignorando todos os outros sons ambientais ou humanos. Isto requer o uso de um método baseado na teoria de aprendizagem de máquina, sem a necessidade de conhecer todos os sons a priori.

Métodos de classificação são técnicas frequentemente utilizadas na prática para resolver problemas de tomada de decisão. Em nossa abordagem optamos por um método de classificação de uma classe (*One-Class Classifier*). Este consiste em classificar um objeto como pertencente ou não a uma classe alvo [Khan 2010]. A classe alvo, chamada de classe positiva, é bem representada por um conjunto de exemplos apresentados ao classificador durante a fase de treino, enquanto tudo que não pertence a classe positiva, chamado de classe negativa, tem poucos ou nenhum exemplo na fase de treino [Tax and Martinus 2001].

O método utilizado é o Support Vector Data Description (SVDD) [Tax and Duin 2004]. O SVDD é um método vetorial que cria uma hipersfera, em torno dos exemplos da classe positiva no espaço vetorial definido pelo conjunto das características acústicas. Consequentemente, o SVDD rejeita todos os exemplos de teste que se encontram fora da hipersfera. A simplicidade do método permite que seja embarcado em nós sensores com poucos recursos de hardware, pois o modelo de classificação resulta num produto vetorial simples. Assim, podemos reduzir a complexidade do processamento, minimizar o consumo de bateria e aumentar o tempo de vida útil do sensor.

Para extrair o vetor de características de um áudio é usada a Decomposição Wavelet. A transformada Wavelet (\mathcal{W}) permite decompor o sinal acústico, captado pelos sensores, utilizando um conjunto de funções ortogonais que podem ser dilatadas e transladadas no tempo [Graps 1995]. Dos sinais resultantes da decomposição são gerados os elementos do vetor de características (Figura 1). Essa transformada com seu esquema discreto, é conhecida por consumir menos memória que a transformada rápida de Fourier tradicional (FFT). Isso torna o método mais leve.

Para sumarizar o desempenho de nosso método é utilizada a curva ROC (*Receiver Operating Characteristic*). Esta curva é gerada utilizando a taxa de verdadeiros positivos (TPR) e a taxa de falsos positivos (FPR). Para avaliar o desempenho final do método, mediante a curva ROC, utilizamos a área sob a curva (*Area Under ROC Curve* - AUC). Esta métrica é uma forma de caracterizar cada curva ROC por um valor real e usá-lo para comparar os desempenhos.

Nos experimentos realizados neste trabalho observamos que o classificador obtém resultados ótimos quando a classe negativa usada é composta inteiramente por sons naturais ($\sim 96\%$). Quando sons artificiais são usados como classe negativa há uma diminuição de desempenho ($\sim 77\%$), isso ocorre pela semelhança entre alguns sons artificiais e o som característico das motosserras. Quando sons de motosserras são agrupados com sons artificiais na mesma classe positiva o classificador novamente obtém resultados ótimos ($\sim 95\%$). Estes resultados indicam que o sensor deve ser posicionado longe de fontes de sons artificiais como estradas ou margens de rios, inseridos dentro das unidades de conservação. Quando testado contra sons naturais é possível estabelecer um limiar de decisão onde não há falsos positivos e um valor aceitável de acertos.

O restante do artigo está organizado da seguinte forma: a Seção 2 descreve os fundamentos teóricos utilizados no trabalho; a Seção 3 apresenta os trabalhos relacionados que já abordaram o problema de detecção de motosserras; a Seção 4 apresenta a abordagem proposta; a Seção 5 explica a metodologia experimental utilizada; a Seção 6 mostra os resultados obtidos no decorrer dos experimentos; as conclusões e direções futuras encontram-se na Seção 7.

2. Fundamentos Teóricos

Formalmente, o sinal acústico captado pelo microfone do sensor é uma série temporal da forma $X(t) = \{x_1, x_2, \dots, x_N\}$, na qual seus valores representam a amplitude do som dentro do intervalo temporal $1 \leq t \leq N$, com duração máxima N . Um *frame* deste sinal pode ser obtido aplicando uma janela deslizante de tamanho $n < N$, o que resulta num subconjunto com k vetores da forma $\mathbf{x}_k = \{x_i, x_{i+1}, \dots, x_{i+n}\}$, com n valores consecutivos. Desta forma, o sinal original pode ser representado pelo conjunto $k = 1, 2, \dots, K$ de *frames* sucessivos.

2.1. Decomposição Wavelet

Neste trabalho, optamos pelo uso da Transformada Wavelet (\mathcal{W}) ao invés da Transformada de Fourier (\mathcal{F}) para realizar a extração das características acústicas que representam cada sinal. Esta escolha é fundamentada pela menor complexidade computacional da \mathcal{W} em comparação à Transformada Rápida de Fourier ($O(N) \leq O(N \log N)$).

A decomposição Wavelet discreta pode ser obtida pelo seu *esquema discreto - dwt*, o qual é definido como uma decomposição recursiva aplicando filtros passa-alta e passa-baixa ao sinal de entrada (Figura 1). Após a aplicação do *dwt* a cada *frame* do sinal \mathbf{x}_k obtemos $L = 2^m$ novos sinais no domínio $\mathcal{W}(\mathbf{x}_k)_m = \mathbf{y}_k^L$, onde m é a quantidade de níveis da decomposição. Cada um dos L sinais y_k^l possui a mesma duração que o *frame* original \mathbf{x}_k . Finalmente, podemos obter L coeficientes, que representam a energia de cada y_k^l , aplicando a Equação 1.

$$c_k^l = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_{ki}^l)^2, \quad (1)$$

onde $l = 1, 2, \dots, L$ e $i = 1, 2, \dots, n$ representa o índice temporal. Assim, os vetores de coeficientes $\mathbf{c}_k = [c_k^1, c_k^2, \dots, c_k^L]$ correspondentes a cada *frame* constituem o vetor de características acústicas utilizados para treinar o classificador descrito na próxima seção.

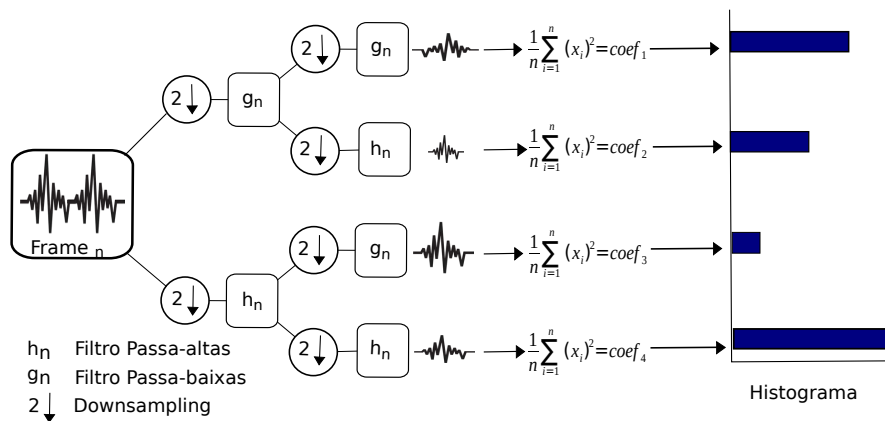


Figura 1. Exemplo de decomposição Wavelet dos *frames* e extração das características acústicas relacionadas às frequências principais utilizando dois níveis do *discrete wavelet transform* (dwt).

2.2. Classificador de uma classe

A classificação de uma classe, diferente da classificação tradicional multi-classe, tem como objetivo identificar objetos da classe alvo (ou positiva) dentre várias outras, fazendo isso sem nenhuma amostra da classe negativa. Em nosso contexto de aplicação, a classificação multi-classe torna-se impossível devido a diversidade de sons da floresta. Por este motivo, escolhemos utilizar um método de classificação de uma classe, pois o objetivo é detectar motosserras em meio aos demais sons da floresta.

2.2.1. Support Vector Data Description

Support Vector Data Description (SVDD) foi inspirado na ideia do Support Vector Machine (SVM). O objetivo do SVDD é criar uma hipersfera dentro do espaço de características \mathbf{c}^l transformadas por uma função não linear chamada kernel. A hipersfera é caracterizada pelo centro \mathbf{a} e pelo raio R , contendo a maioria dos objetos da classe positiva utilizada para treinar o classificador [Chang et al. 2013]. Assim, dado um conjunto de treinamento $\mathbf{c}_k \in \mathbb{R}^L$, onde $k = 1, 2, \dots, K$ representa a quantidade de *frames* do áudio, SVDD resolve o seguinte problema de otimização:

$$\text{minimizar}_{R, \mathbf{a}, \xi} R^2 + C \sum_{k=1}^K \xi_k, \quad (2) \quad \text{sujeito a: } \|\phi(\mathbf{c}_k) - \mathbf{a}\|_2^2 \leq R^2 + \xi_k \quad (3)$$

$$\xi_k \geq 0, \quad k = 1, 2, \dots, K$$

onde, $\|\cdot\|_2$ é a norma euclidiana, $\phi(\mathbf{c}_k)$ é a função kernel que mapeia cada vetor de coeficientes obtidos pela transformada Wavelet a um espaço vetorial de dimensões maiores, ξ é a variável de folga que permite relaxar as margens da função de decisão e $C > 0$ é um parâmetro definido pelo usuário que representa a tolerância aos *outliers* próximos à margem de decisão.

Para alcançar a relação ótima entre os falso positivos e os verdadeiros positivos deve-se escolher o volume da hipersfera controlado pelo parâmetro C e pelo parâme-

tro σ da função do kernel Gaussiano, como ilustrado na Figura 2. O objetivo final, é encontrar uma combinação ótima para esses parâmetros, que minimize o volume da hipersfera, sem rejeitar amostras da classe positiva (motosserra), pois com um volume muito pequeno apareceria uma quantidade elevada de falso negativos. O SVDD oferece a habilidade de realizar um mapeamento não linear dos dados para um espaço vetorial de dimensões maiores, aplicando o truque do kernel, sem incorrer num custo computacional adicional. Na Seção 6 apresentamos uma avaliação experimental demonstrando o efeito destes parâmetros.

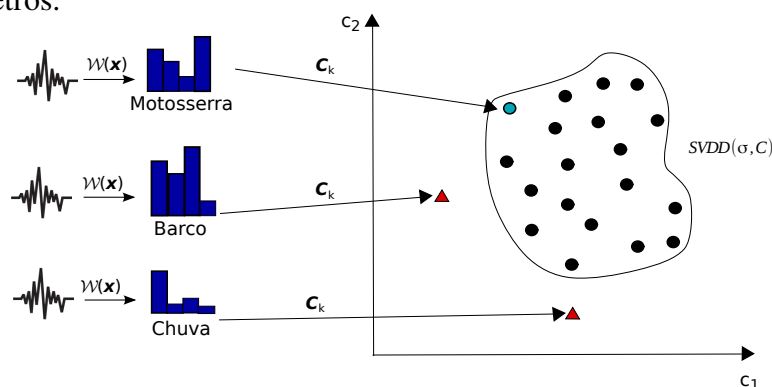


Figura 2. Hipersfera do SVDD onde os círculos representam amostras da classe alvo e os triângulos representam amostras da classe negativa (*outliers*).

2.3. Curva ROC e AUC

Neste trabalho, utilizamos as curvas ROC (*Receiver Operating Characteristic Curve*) para estimar o desempenho de nosso método. Devido a este tipo de curva ser definida somente para os casos binários (somente duas classes), na metodologia incluímos classes negativas, as quais não correspondem ao som das motosserras, para estimar a capacidade de rejeição do nosso método. Assim, uma curva ROC pode ser gerada traçando a taxa de verdadeiros positivos (TPR) contra a taxa de falsos positivos (FPR) enquanto varia-se o limiar de decisão entre zero e um [Fawcett 2006], definidas como:

$$TPR = \frac{TP}{TP + FP}, \quad (4)$$

$$FPR = \frac{FP}{FP + TN}. \quad (5)$$

Assim, para cada observação é atribuída uma classe e comparada com a classe correta. Desta forma, a probabilidade condicional de detecção torna-se uma função de probabilidade dos falsos alarmes e nos ajuda a selecionar o modelo ótimo. O modelo ótimo é aquele que maximiza a área sob a curva (AUC), independentemente da distribuição das classes. Portanto, esta métrica é adequada para entender o gráfico ROC como um único valor escalar que indica o desempenho do classificador (Figura 5). O AUC varia no intervalo $0 \leq AUC \leq 1$. Assim, quanto maior é o AUC, melhor é o desempenho do reconhecimento.

3. Trabalhos Relacionados

Nos trabalhos de [Papán et al. 2012] e [Soisinthorn and Rujipattanapong 2007] foram propostos métodos baseados em autocorrelação, entretanto tais métodos não são adequados para uma aplicação real na Amazônia devido a riqueza acústica da floresta e pela

possível ocorrência de sons artificiais. Nestes trabalhos, a função de autocorrelação foi aplicada para extrair a frequência fundamental dos sinais, porém, os harmônicos e as sub-bandas de frequências que caracterizam os sons artificiais foram ignorados. Além disso, a função de autocorrelação é sensível aos ruídos ambientais. Dos trabalhos anteriormente citados nenhum leva em consideração a ocorrência de sons não naturais.

Na abordagem apresentada por [Colonna et al. 2016b] foi proposto o uso de redes de sensores acústicos sem fio para detecção de motosserras. Neste caso, foi utilizada a transformada de Fourier (*FFT*) para extrair as características acústicas mais relevantes representadas pelos coeficientes Mel (*Mel Frequency Cepstral Coefficient* - MFCC). Posteriormente, aplicou-se apenas uma função kernel não paramétrica para estimar a densidade de probabilidade dos principais MFCCs. Entretanto, o critério de rejeição foi determinado empiricamente.

Nenhum dos trabalhos relacionados utiliza transformada Wavelet para obtenção das características do áudio. Esta transformada foi escolhida por sua baixa complexidade computacional ($O(N)$) e seu esquema de processamento em tempo real. O segundo diferencial deste trabalho é o uso do Support Vector Data Description cujo modelo de classificação resulta num produto vetorial simples que consegue rejeitar amostras desconhecidas.

4. Abordagem

Para abordar o problema de fiscalizar áreas de floresta contra corte ilegal de madeira, nosso trabalho propõe o uso de uma Rede de Sensores Acústicos Sem Fio (RSASF). Estas redes consistem em um conjunto de dispositivos autônomos disseminados em um ambiente remoto, com a finalidade de monitorar e coletar dados [Pereira et al. 2016]. Em nosso caso com processamento local, capazes de monitorar as condições acústicas do ambiente em diferentes locais [Bertrand 2011]. Estes sensores obtêm as amostras de áudio do ambiente e processam as mesmas localmente, evitando a transmissão de dados brutos.

A Figura 3 exemplifica o método embarcado no nó sensor. Nesta figura, o sensor realiza a leitura sonora do ambiente e segmenta o sinal em *frames*. O vetor de características c_k^L correspondente a cada *frame*, extraído utilizando a decomposição Wavelet com as bases “Haar”, é representado pelo histograma da Figura 3. Este vetor de características é classificado localmente aplicando o modelo SVDD previamente treinado, e se uma motosserra for detectada, um alarme é enviado através da rede de sensores até os agentes ambientais.

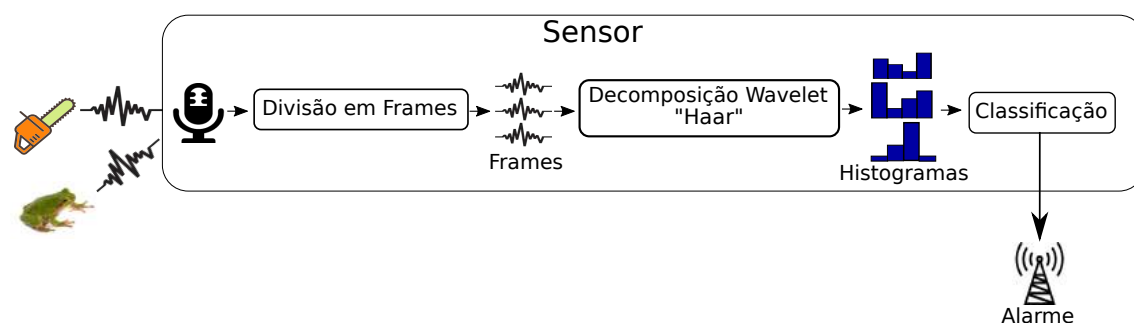


Figura 3. Sensor acústico com o método proposto embarcado.

	Experimento 1	Experimento 2	Experimento 3	Experimento 4
Classe Positiva	Motosserras	Motosserras	Motosserras	Motosserras e Sons Artificiais
Classe Negativa	Sons Naturais	Sons Artificiais	Sons Naturais e Sons Artificiais	Sons Naturais

Tabela 1. Composição das classes para cada configuração dos nossos experimentos. Nota-se que a classe motosserras sempre fez parte da classe positiva.

5. Metodologia Experimental

As bases de dados utilizada, como mostrada na Tabela 1, são composta por: 12 áudios de motosserras (classe positiva); 33 áudios com sons naturais (primeira classe negativa); 22 áudios com sons artificiais (segunda classe negativa); uma terceira classe negativa com 55 amostras, concatenando todos os sons naturais e artificiais; e uma segunda classe positiva com 34 amostras, concatenando todos os sons de motosserras com sons artificiais. Todos os áudios possuem frequência de amostragem igual a 22 050 Hz e duração N variável. Cada áudio foi dividido em *frames* com um segundo de duração sem sobreposição. A base da transformada Wavelet utilizada é “Haar” com quatro níveis.

Primeira etapa da avaliação: O experimento foi realizado em duas etapas, para poder avaliar o erro de generalização esperado pelo modelo de classificação (como recomendado em [Colonna et al. 2016a]). A primeira etapa utiliza validação cruzada por áudio, onde a cada iteração, todos os *frames* pertencentes ao mesmo áudio de motosserra neste caso, são separados da classe positiva e utilizados como conjunto de teste. Os *frames* restantes da classe positiva são utilizados para treinar o modelo SVDD. Após o treino, o conjunto de teste é avaliado. Desta forma, é possível atribuir uma pontuação para cada *frame* de teste representando a confiança de pertencer à classe positiva. Esta iteração é repetida até que todos os áudios da classe motosserra, com seu respectivos *frames*, são avaliados.

Segunda etapa da avaliação: Após a obtenção da pontuação de todos os *frames* da classe positiva, nesta segunda etapa, são avaliados todos os *frames* das classes negativas, obtendo-se um valor de pontuação para cada um deles. Neste caso, não é necessário separar um conjunto de teste para a classe negativa, devido ao modelo de classificação ser criado considerando somente a classe positiva. Esta é a principal vantagem de se utilizar SVDD. Nesta etapa, os parâmetros da função kernel e C não foram alterados, isto é, permanecem os mesmos valores que foram os utilizados para avaliar a classe positiva na primeira etapa.

Finalmente, com as pontuações obtidas na primeira e segunda etapa, criamos as curvas ROC e calculamos o AUC de cada uma destas. Para treinar o modelo SVDD, utilizamos o kernel Guassiano com o parâmetro σ , que representa a largura de banda deste kernel. Cada experimento foi repetido uma vez para cada combinação dos parâmetros $C = \{0.1, 1.0\}$ e $\sigma = \{0.5, 0.6, 1.0, 1.5\}$. No total foram geradas as curvas ROC e os valores de AUC para cada combinação descrita na Tabela 1, obtendo-se assim um total de 32 valores de AUC.

6. Resultados

Para avaliar nosso método, calculamos as curvas ROC e os valores de AUC nas quatro configurações descritas na seção anterior utilizando validação cruzada por áudio. A Ta-

bela 2 apresenta os resultados do AUC para as diferentes combinações dos parâmetros σ e C . Os melhores valores de cada configuração encontram-se ressaltados em negrito. Nesta tabela, podemos notar que o desempenho do método quando comparado contra a primeira classe negativa obteve um resultado próximo do máximo (96%). Isto é devido à diferença acústica que caracteriza os sons ambientais e os sons das motosserras. O espectrograma da Figura 4 ilustra as diferenças de energia entre as bandas de frequências em função do tempo para três exemplos da nossa base.

$\sigma \backslash C$	Experimento 1		Experimento 2		Experimento 3		Experimento 4	
	0,1	1,0	0,1	1,0	0,1	1,0	0,1	1,0
0,5	0,966	0,969	0,704	0,775	0,801	0,847	0,952	0,950
0,6	0,958	0,961	0,650	0,740	0,764	0,822	0,951	0,947
1,0	0,951	0,955	0,600	0,663	0,730	0,771	0,949	0,948
1,5	0,951	0,954	0,597	0,649	0,728	0,762	0,946	0,945

Tabela 2. Valores do AUC nos quatro experimentos.

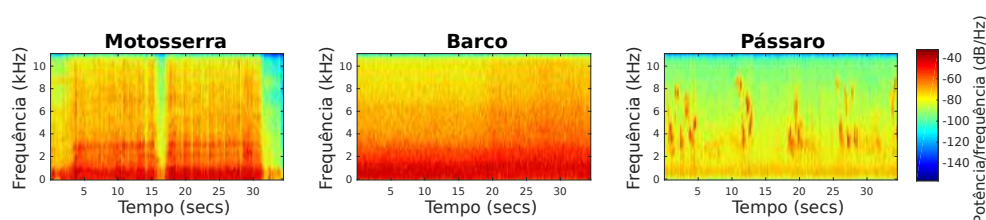


Figura 4. Exemplos de espectrogramas correspondentes a uma amostras de cada classe.

Na Figura 4 observamos que as baixas frequências, entre 0 Hz e 5000 Hz, dos motores de barcos, incluídos na segunda classe negativa, possuem um padrão similar às frequências das motosserras. No entanto, as motosserras ainda incluem uma maior quantidade de energia nas altas frequências. Embora exista uma diferença visual, dentro do espaço de características estas diferenças não são suficientes para conseguir uma separação destas classes. Por este motivo, o valor de AUC correspondente à coluna “Experimento 2” somente atingiu 77% do valor máximo. No experimento 3, quando todos os sons da classe negativa são apresentados ao classificador, o valor de AUC aumenta para 84%, avançado pelos resultados dos sons naturais. Na última coluna da tabela, experimento 4, é mostrado mais uma vez um valor próximo do máximo (95%), quando sons de motosserras são agrupados com outros sons artificiais e avaliados contra os sons naturais.

A Figura 5 apresenta as curvas ROC dos melhores valores da Tabela 2. É possível observar novamente que o método é mais preciso quando testado contra sons naturais e perde precisão contra sons artificiais. Isso ocorre porque alguns sons não naturais (motores de barcos ou carros) são muito semelhantes aos sons produzidos por uma motosserra. Esta característica revela, que para uma aplicação real, a melhor localização dos sensores seria longe de estradas e margens dos rios, para minimizar a probabilidade de falso positivos. Por outro lado quando tiramos proveito desta semelhança o método volta a ganhar precisão. Isto mostra que sensores treinados para reconhecer sons artificiais podem ser posicionados em florestas densas ou estradas ilegais para monitorar atividades na região, uma vez que nelas não deveria haver presença de sons artificiais.

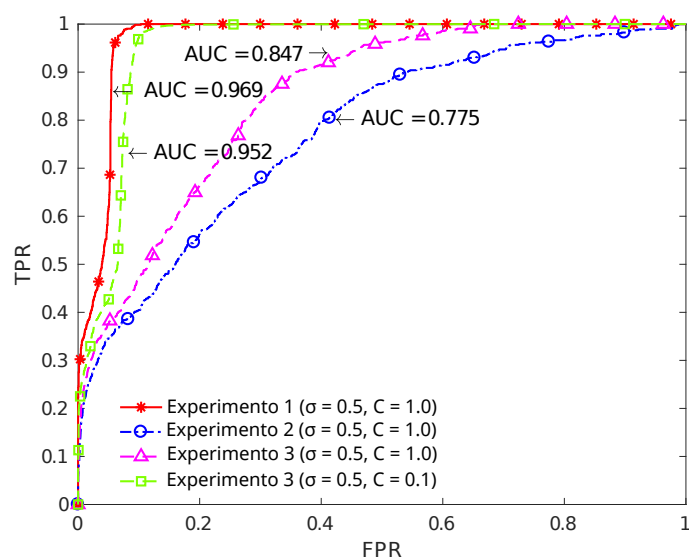


Figura 5. Curvas ROC, uma para cada configuração do experimento, dos melhores resultados da Tabela 2.

Observa-se também que a taxa de falsos positivos é zero quando a taxa de verdadeiros positivos é aproximadamente 22% nos experimentos com sons naturais. Logo é possível estabelecer um limiar de decisão, para o qual os resultados são totalmente confiáveis. A confiabilidade dos resultados é importante, pois um falso positivo poderia resultar no deslocamento desnecessário de agentes ambientais e por consequência gastar recursos, diminuindo a confiabilidade do sistema completo.

7. Conclusão

Neste trabalho apresentamos um método capaz de detectar o som de uma motosserra para ser embarcado num nó sensor de detecção de corte e extração ilegal de madeira. Nosso método inclui a decomposição Wavelet com *dwt* para criação dos vetores de características acústicas e a técnica de classificação SVDD. Os resultados foram avaliados com as curvas ROC e a área sob as curvas (AUC).

Nos experimentos observamos que o método possui um desempenho ótimo quando sons naturais são usados como classe negativa, porém o desempenho diminui quando há sons artificiais similares ao de uma motosserra. Esta similaridade entretanto, alavanca os resultados quando sons de motosserras são agrupados na mesma classe positiva que sons artificiais. Contra sons naturais é possível observar um limiar onde não há falso positivos mas há um número razoável de verdadeiro positivos.

Os resultados obtidos neste trabalho mostram que seria viável instalar sensores em áreas de preservação ambiental em risco, podendo-se prever extração ilegal e desmatamento não permitido na floresta amazônica. Também é mostrado a viabilidade da instalação de sensores em áreas densas de florestas ou estradas ilegais onde não deveriam existir sons de origem artificial. Esses sensores devem ser posicionados longe de estradas legais e margens de rios para evitar ocorrência de falsos alarmes.

Para melhorar os resultados gerais do reconhecimento podemos: 1) aprimorar a

extração de características acústicas, 2) melhorar o método de classificação. Portanto, como trabalho futuro pretendemos melhorar a separabilidade das classes experimentando outras bases para a transformada Wavelet que discriminem melhor as altas frequências. Outra possível técnica de classificação de uma classe, tal como 1NN (um vizinho mais próximo), será avaliada.

Referências

- Bertrand, A. (2011). Applications and trends in wireless acoustic sensor networks: a signal processing perspective. In *Communications and Vehicular Technology in the Benelux (SCVT), 2011 18th IEEE Symposium on*, pages 1–6. IEEE.
- Chang, W.-C., Lee, C.-P., & Lin, C.-J. (2013). A revisit to support vector data description. *Dept. Comput. Sci., Nat. Taiwan Univ., Taipei, Taiwan, Tech. Rep.*
- Colonna, J. G., Gama, J., & Nakamura, E. F. (2016a). *How to Correctly Evaluate an Automatic Bioacoustics Classification Method*, volume 9868 of *Advances in Artificial Intelligence. Lecture Notes in Computer Science (LNCS)*, pages 37–47. Springer International Publishing.
- Colonna, J. G., Gatto, B., Dos Santos, E. M., & Nakamura, E. F. (2016b). A framework for chainsaw detection using one-class kernel and wireless acoustic sensor networks into the amazon rainforest. In *Mobile Data Management (MDM), 2016 17th IEEE International Conference on*, volume 2, pages 34–36. IEEE.
- Fawcett, T. (2006). An introduction to roc analysis. *Pattern Recognition Letters*, 27(8):861–874.
- Graps, A. (1995). An introduction to wavelets. *IEEE computational science and engineering*, 2(2):50–61.
- Greenpeace (2016). Desmatamento dispara na amazônia. disponível em: <https://goo.gl/3ruDOM>.
- Khan, S. S. (2010). *Kernels for One-Class Nearest Neighbour Classification and Comparison of Chemical Spectral Data*. PhD thesis, College of Engineering and Informatics, National University of Ireland.
- Papán, J., Jurečka, M., & Púchyová, J. (2012). Wsn for forest monitoring to prevent illegal logging. In *Computer Science and Information Systems (FedCSIS), 2012 Federated Conference on*, pages 809–812. IEEE.
- Pereira, A. S., Silva, T. R. M. B., Silva, F. A., Loureiro, A. A. F., & Ruiz, L. B. (2016). Avaliando algoritmos para um elemento sensor autônomo. *Simpósio Brasileiro de Computação Ubíqua e Pervasiva*.
- Sosisinthorn, T. & Rujipattanapong, S. (2007). Deforestation detection algorithm for wireless sensor networks. In *Communications and Information Technologies, 2007. ISIT'07. International Symposium on*, pages 1413–1416. IEEE.
- Tax, D. & Duin, R. (2004). Support vector data description. *Machine learning*, 54(1):45–66.
- Tax, D. & Martinus, J. (2001). *One-class classification*. PhD thesis, TU Delft, Delft University of Technology.

Um *Middleware* para Gerenciamento de Sensores de Saúde Corporais em Dispositivos Móveis

Samuel Francisco Ferrigo¹, Cristiano André da Costa¹, Rodrigo da Rosa Righi¹

¹Programa de Pós-graduação em Computação Aplicada (PIPICA)
Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS)
São Leopoldo – RS – Brasil

samuelff@edu.unisinos.br, {cac, rrrighi}@unisinos.br

Abstract. *The use of IoT sensors to monitoring vital signs presents a series of challenges, such as the search for energy efficiency and the synchronization between sensors. A solution to these problems is presented by the MOMICARE model, a middleware for smartphones to manage a body wireless sensor network with emphasis on power consumption and synchronization of data sent by these sensors. As a scientific contribution, MOMICARE offers low power consumption and timing between the data collected by the sensors. The evaluation of the model was performed through simulations carried out in the Cooja software, presenting a reduction in energy consumption.*

Resumo. *O uso de sensores IoT para monitoramento de sinais vitais apresenta uma série de desafios, como a busca pela eficiência energética e a sincronização entre sensores. Uma solução para estes problemas é apresentada pelo modelo MOMICARE, um middleware para smartphones para gerenciamento de uma rede de sensores sem fio corporais com ênfase no consumo de energia e na sincronização dos dados enviados por esses sensores. Como contribuição científica, o MOMICARE oferece baixo consumo de energia e sincronismo entre os dados coletados pelos sensores. A avaliação do modelo foi realizada por meio de simulações efetuadas no software Cooja, apresentando redução no consumo de energia.*

1. Introdução

A área da saúde, historicamente, consome muitos recursos financeiros. No Brasil, somente o governo federal investe quase 2% do PIB em saúde [IBGE 2015]. Ainda assim, em virtude de suas dimensões continentais, os serviços médicos do país são ineficientes e acessíveis a apenas uma parcela da população, principalmente àquelas que vivem nos grandes centros urbanos.

Nesse contexto, a *mobile healthcare*, também conhecida por *m-health*, torna-se uma aliada na melhora da eficiência em cuidados médicos [Merrell and Doarn 2014]. Nela, a Internet das Coisas, ou *Internet of Things (IoT)* [Riazul Islam et al. 2015], possui um papel fundamental. Isso permite, entre outras coisas, que problemas de saúde possam ser identificados antecipadamente e mais facilmente tratados, através de um monitoramento contínuo. Esse monitoramento consiste em medir a condição de saúde de um paciente, obtida através da medição de seus sinais vitais [Riazul Islam et al. 2015].

A *m-health* faz uso de sensores *IoT* afixados ao corpo para a medição dos sinais vitais formando, dessa maneira, uma rede chamada de *Wireless Body Area Network (WBAN)* [Castillejo et al. 2013]. Todavia, esses sensores dispõem de capacidade limitada de processamento e possuem um rádio integrado para transmissão dos dados coletados [Wang et al. 2015], sendo necessário um equipamento externo que receba e envie esses dados às aplicações externas que os requisitem, ou ainda que cada aplicação conecte-se diretamente ao(s) sensor(es) corporais desejados.

Nessa conjuntura, os *smartphones* podem atuar como um intermediário que receba esses dados e os envie para as aplicações no momento em que haja uma rede disponível, conforme demonstrado na Figura 1. Como esse dispositivo está normalmente próximo de um corpo de uma pessoa, ele não teria problemas de comunicação pela distância. Ainda, em função de sua maior capacidade de processamento e armazenamento, o *smartphone* pode armazenar e transmitir os dados para aplicações médicas externas que os requisitem. Além disso, os *smartphones* possuem sensores internos - tais como acelerômetro e GPS - que permitem que os dados capturados pelos sensores *IoT* possam ser complementados.

Entretanto, apenas o uso do *smartphone* não é suficiente para resolver todos os problemas relacionados ao uso de sensores de saúde corporais. Alguns desses desafios estão relacionados ao sincronismo entre os sensores e à duração da bateria desses dispositivos. O sincronismo é necessário para que o profissional médico possa realizar o diagnóstico correto, enquanto que a duração da bateria de um sensor deve ser prolongada de forma a evitar que um sensor deixe de funcionar por falta de carga.

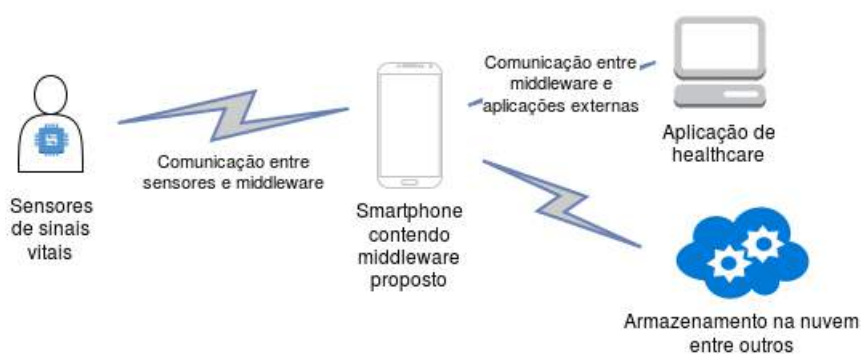


Figura 1. A proposta de solução para o problema.

Dessa forma, a principal contribuição científica desse trabalho é o desenvolvimento de um *middleware* específico que permita que os *smartphones* possam ser capazes de realizar o gerenciamento de sensores de saúde corporais, atacando os problemas de sincronização e consumo de energia que envolvem esses dispositivos. Essas são duas das lacunas que atualmente encontram-se abertas em trabalhos de pesquisa relacionados [Maia et al. 2015].

Este trabalho está dividido em seis seções. A Seção 2 apresenta os conceitos relacionados aos sensores *IoT* e a sua comunicação. A Seção 3 apresenta os trabalhos relacionados. A Seção 4 apresenta uma visão geral do modelo *MOMICARE*. A Seção 5 apresenta os resultados obtidos através de simulação. Por fim, a Seção 6 apresenta as conclusões do trabalho.

2. Redes *WBAN*

Uma *WBAN* (Wireless Body Area Network) é uma rede de sensores sem fio (RSSF) utilizada para interconectar sensores implantados dentro de um corpo de uma pessoa ou dispostos sobre o corpo de uma pessoa [IEEE 2011], utilizados, entre outras aplicações, para cuidados médicos

Os sensores que formam uma rede *WBAN*, também conhecidos como *mo-tes*, possuem baixa capacidade de armazenamento e processamento e possuem restrições de consumo de energia, visto que seu tamanho reduzido não permite que sejam utilizadas baterias com grande capacidade de armazenamento de energia [Goswami et al. 2016]. Os sensores são classificados em dois tipos: intrusivos e não-intrusivos [Shankar and Tomar 2016]. Os sensores intrusivos são inseridos dentro do corpo humano através de procedimento cirúrgico e são usados para medições específicas, como a verificação da pressão intra-craniana. Já os sensores não-intrusivos, também conhecidos como *wearables*, são fixados externamente ao corpo humano através de pingentes, braceletes, meias, entre outros, e normalmente realizam a medição de sinais vitais, como pressão arterial, temperatura corporal, batimento cardíaco, etc. Estes sensores normalmente estão em volta das mãos, em volta dos braços, em frente ou atrás do peito, ao redor da coxa, em volta do tornozelo ou próximo às orelhas.

Os sensores comunicam-se normalmente através dos padrões *Bluetooth Low Energy (BLE)* [SIG 2016] e *IEEE 802.15.4* [IEEE 2011], de forma que a troca de dados entre esses dispositivos consuma o mínimo de energia. Dessa forma, esses dispositivos têm capacidade suficiente apenas para processar e repassar informação para uma estação-base para posterior diagnose e análise por outros dispositivos computacionais [Goswami et al. 2016].

Para poupar energia na comunicação de dados entre os dispositivos, os padrões *BLE* e *IEEE 802.15.4* utilizam basicamente as mesmas técnicas: longos períodos de inatividade na comunicação - também chamado de baixo ciclo de trabalho - e quadros com *payload* de poucos *bytes*. Esse último aspecto torna ambos padrões incompatíveis com o protocolo *IP*, visto que o cabeçalho deste é muito grande e complexo. Como consequência, sobrecargas na rede ocorrem frequentemente. Para contornar o problema, surgiu o padrão *6LowPAN* [Riazul Islam et al. 2015]. Localizado entre a camada de rede e a camada de enlace do modelo *OSI*, tem a função de reduzir o cabeçalho do *IPv6* para um formato que possa ser comportado nos quadros dos padrões *BLE* e *802.15.4*.

3. Trabalhos Relacionados

Para a concepção do modelo, foram considerados sete trabalhos que (1) permitiam a utilização de um *smartphone* com utilitário de verificação de saúde; (2) utilizavam algum tipo de rede de transmissão para coleta dos dados de sensores de uma RSSF e/ou que transmitiam dados coletados do próprio equipamento para uma aplicação externa e; (3) que possuíam algum tipo de integração com aplicações externas. O trabalho de [Lee et al. 2012] apresenta um sistema de monitoramento de saúde que funciona a partir de um *smartphone*. Através de um aplicativo específico, o *smartphone* armazena os dados recebidos dos sensores via *Bluetooth* e permite que um usuário visualize, em tempo real, os resultados. A proposta apresentada por [Lane et al. 2014] tem por objetivo monitorar o bem-estar de uma pessoa, por meio de um aplicativo para *smartphone* que monitora as

atividades de uma pessoa por meio do uso dos sensores disponíveis nestes dispositivos. A partir dos dados coletados, o aplicativo realiza inferências sobre esses dados e transmite os resultados para processamento na nuvem.

A solução de [Seeger et al. 2015] consiste num *middleware* voltado a eventos relacionados a um interesse específico, como exercícios físicos, telemedicina ou cuidados a idosos. As aplicações *healthcare* podem se inscrever em um ou mais interesses, por meio do método *publish-subscribe*, recebendo assim apenas os eventos desejados. O artigo de [Maia et al. 2015] propõe uma plataforma de *middleware Web* que interliga diversos sensores heterogêneos e notifica as condições de saúde de um paciente - bem como seus sinais vitais - a aplicações *web* por meio do padrão *REST* e no protocolo *HTTP*. O trabalho de [Jung et al. 2013] propõe um *gateway* doméstico voltado a cuidados médicos propondo dietas, exercícios e outros cuidados médicos ao usuário. Essas propostas são elaboradas a partir de decisões tomadas por um ambiente ubíquo e também permite que um profissional médico contate remotamente esse paciente através da solução.

A proposta de [Moser and Melliar-Smith 2015] aborda o uso de um *smartphone* voltado exclusivamente para o monitoramento de saúde de uma pessoa. Além de coletar dados de sensores de sinais vitais pré-determinados de uma *WBAN*, ele fornece diversas análises estatísticas sobre os dados coletados e também faz a correlação entre a atividade física e as medições fisiológicas. Por fim, [Castillejo et al. 2013] traz uma solução de *e-health* voltada para ambientes internos que interliga dispositivos *IoT* de *healthcare* que tem por objetivo monitorar a condição de saúde de um paciente quanto este está praticando algum exercício físico.

A Tabela 1 apresenta um comparativo entre os trabalhos relacionados. Como pontos relevantes, verifica-se a pouca preocupação quanto à segurança na transmissão de dados entre dispositivos de uma rede *WBAN*, a baixa escalabilidade da rede *WBAN*, a pouca eficiência energética na comunicação entre os dispositivos da *WBAN*, e a sincronização entre sensores de uma rede *WBAN*. O objetivo do modelo proposto neste trabalho é preencher as lacunas de sincronismo e eficiência energética dos sensores, de forma a permitir que os dados coletados por esses dispositivos possam ser sincronizados e transmitidos de maneira energeticamente eficiente.

4. O Modelo MOMICARE

O *MOMICARE*, acrônimo de *MOBILE MIDDLEWARE FOR HEALTHCARE*, é um modelo de *middleware* projetado para funcionar em *smartphones* para gerenciamento de sensores de saúde de uma *WBAN*. O *middleware* recebe os dados de diversos sensores de saúde, sincroniza-os e armazena-os internamente e, quando solicitado, retransmite-os às aplicações médicas que necessitem utilizá-los. Ele também centraliza o recebimento dos dados enviados pelos diversos sensores. Isso evita retransmissões desnecessárias e, conseqüentemente, poupa energia desses dispositivos. A sincronização dos dados recebidos é efetuada pelo próprio *middleware* conforme os dados enviados pelos sensores são recebidos. Dessa forma, o *MOMICARE* provê sincronismo aos dados enviados pelos sensores, bem como oferece uma maior eficiência energética a esses dispositivos.

A arquitetura do *middleware* é formada por quatro módulos: módulo de comunicação, módulo do dispositivo, módulo de integração e módulo de gerenciamento. Conforme a Figura 2, os sensores que formam a rede *WBAN* comunicam-se com o *mid-*

Tabela 1. Comparativo entre os trabalhos relacionados

Critério/ Trabalho	Lee et al. 2012	Lane et al. 2014	Seeger et al. 2015	Maia et al. 2015	Jung et al. 2013	Moser and Melliari- Smith 2015	Castillejo et al. 2013
Segurança na transmissão	Não	Não	Não	Não	Não	Somente <i>Bluetooth</i>	Não
Escalabilidade	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim
Interoperabilidade	3G, <i>WiFi</i> , <i>Bluetooth</i>	3G, <i>WiFi</i>	<i>WiFi</i> , <i>Bluetooth</i>	802.15.4, <i>Bluetooth</i>	<i>WiFi</i> , <i>Bluetooth</i>	3G, <i>WiFi</i> , <i>Bluetooth</i>	802.15.4, <i>WiFi</i> , <i>Bluetooth</i>
Eficiência energética	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não
Uso de sensores do próprio <i>smartphone</i>	Não	Acelerômetro, microfone	Acelerômetro	Não	Não	Acelerômetro, microfone	Não
Captura dos dados dos sensores	Em qualquer lugar	Em qualquer lugar	Em qualquer lugar	Locais determinados	Locais determinados	Em qualquer lugar	Locais determinados
Sincronização entre sensores	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não

dleware através do módulo de comunicação e armazenam os dados enviados no módulo do dispositivo. As aplicações externas acessam os dados armazenados no *middleware* por meio do módulo de integração, enquanto que o módulo de gerenciamento é responsável pela administração e comunicação entre os demais módulos.

O módulo de comunicação é responsável por realizar a comunicação do *middleware* com os sensores corporais de uma rede *WBAN*, conforme as configurações de energia e segurança definidas no módulo de gerenciamento. Dentro desse módulo há um componente *6LowPAN* responsável por realizar a conversão dos cabeçalhos enviados em *IPv6* para o cabeçalho reduzido utilizado pelo padrão *IEEE* 802.15.4 e pelo padrão *Bluetooth*. Esse módulo também é responsável por fornecer uma comunicação energeticamente mais eficiente entre o *smartphone* e os sensores de uma *WBAN*, através da redução do ciclo de trabalho dos sensores que é oferecido pelos protocolos *BLE* e *IEEE* 802.15.4.

A comunicação por meio de ciclos de trabalho também permite a sincronização entre os sensores de uma *WBAN*, através do modelo de ordem de eventos utilizado no trabalho de [Djenouri and Bagaa 2016], onde os dados recebidos por cada sensor são reordenados conforme seu intervalo de chegada. Isso evita troca de dados de sincronização entre *middleware* e sensores, poupando energia desses dispositivos. A reordenação dos dados recebidos segue a seguinte metodologia:

- É registrado o horário de chegada (*timestamp*) dos dados de um determinado sensor;
- É calculado o intervalo de transmissão de cada sensor, a partir do cálculo da diferença entre os dois últimos instantes de recebimento de dados;

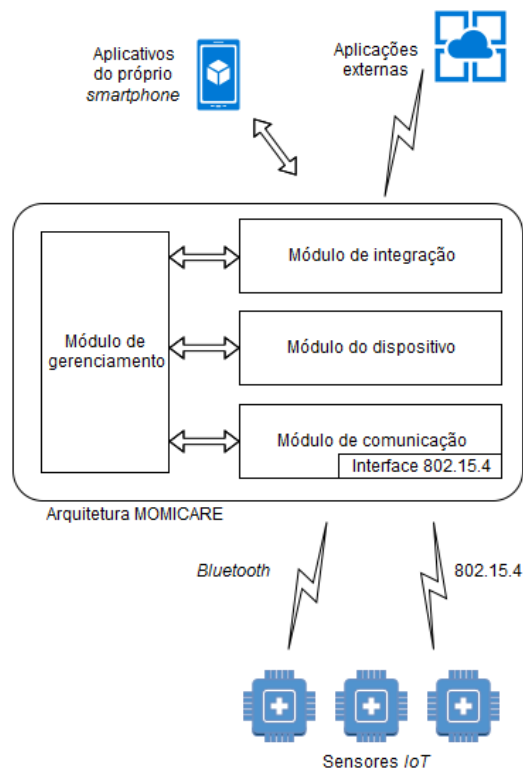


Figura 2. A arquitetura da solução MOMICARE.

- São analisados os horários recebidos na última transmissão e calculado o intervalo obtido entre o horário do primeiro e do último dado recebido do sensor nesse horário;
- É calculado a média da diferença entre o intervalo de transmissão e o intervalo dos dados;
- É registrado o horário consolidado, somando o valor obtido da média ao horário de chegada dos dados.

O módulo do dispositivo do *MOMICARE* é responsável por administrar os recursos do *smartphone* que serão utilizados pelo *middleware*, como os sensores instalados no aparelho, a bateria, o armazenamento interno e os *hardwares* de comunicação existentes. Ele atende às requisições solicitadas pelo módulo de gerenciamento e relata a este informações diversas referentes aos recursos utilizados pelo *middleware*, tais como carga da bateria, quantidade de espaço livre no armazenamento interno e os sensores disponíveis no *smartphone*. Esse módulo também é responsável por armazenar os dados coletados pelos sensores e sincronizados pelo módulo de comunicação.

O módulo de integração tem a função de realizar a comunicação entre o *middleware* e os aplicativos de terceiros instalados no próprio *smartphone*, em *smartphones* externos ou em qualquer outro dispositivo, a partir das configurações definidas no módulo de gerenciamento. Caso a solicitação de comunicação seja enviada a uma aplicação terceira instalada no próprio *smartphone*, ela será efetuada por meio de chamada de sistema do próprio sistema operacional do dispositivo. Caso contrário, ela se dará por qualquer outra aplicação que possa comunicar-se pelo padrão *Representational State Transfer (REST)*.

Por fim, o módulo de gerenciamento é responsável pelo funcionamento do *middleware*. Ele coordena a comunicação entre os demais módulos e permite a configuração do *middleware* pelo usuário, através de uma interface. Entre as opções de configuração possíveis, estão as seguintes:

- Configuração de uso dos sensores do *smartphone*: permitir que o usuário ative ou desative sensores do dispositivo, fornecidos através do módulo do dispositivo, que podem auxiliar da captura de dados;
- Segurança: utilização de mecanismos de segurança no nível de enlace oferecidos pelos protocolos para segurança nas comunicações entre *smartphone* e rede *WBAN*, a serem executadas pelo módulo de comunicação;
- Configurações de energia: configurar o intervalo de captura de dados dos sensores, bem como demais parametrizações nos protocolos *Bluetooth* e *IEEE 802.15.4* que podem auxiliar na otimização do consumo de bateria, a serem executadas pelo módulo de comunicação.

5. Avaliação

A avaliação foi concebida de forma a avaliar o comportamento do *middleware* em relação ao consumo energético, bem como analisar a viabilidade de utilização da técnica de sincronismo proposta em aplicações reais. Ela foi efetuada a partir de simulações realizadas com o emulador *Cooja*, disponível no sistema operacional *Contiki*, voltado para aplicações *IoT* [Contiki 2017]. O *Cooja* destina-se a simular redes de sensores sem fio em diversos níveis de avaliação, possibilitando assim a realização de avaliações mais detalhadas e precisas em relação ao comportamento da rede.

Para realização da avaliação do modelo foram montados três cenários que demonstram simular o acesso de quatro aplicações distintas (de um hospital, de um profissional médico, de uma ambulância e do próprio paciente) aos sensores corporais de um paciente, conforme demonstrado na Figura 3. O primeiro, chamado de Cenário 1 e mostrado na Figura 3 (a), é composto por 3 sensores *IoT*, chamados de sensores-filho, em amarelo, que formam a rede *WBAN*, e por outros 4 sensores, chamados de sensores-pai, em verde. Estes últimos simulam as requisições recebidas de aplicações de terceiros, por meio de um *script* que executa o comando *ping* para cada um dos sensores-filho. Dessa forma, cada um dos sensores-pai executa uma requisição por segundo a cada um dos sensores-filho. Tanto os sensores-pai quanto os sensores-filho utilizaram o sensor *Tmote-sky* disponível no emulador.

O segundo cenário, chamado de Cenário 2 e mostrado na Figura 3 (b), é formado pelos mesmos 3 sensores-filho que formam a rede *WBAN* e por 2 sensores-pai. Cada um dos sensores-pai executa 2 *scripts* que simulam as requisições recebidas de aplicações de terceiros. Por fim, o terceiro cenário, chamado de Cenário 3 e mostrado na Figura 3 (c), é formado pelos mesmos 3 sensores-filho que formam a rede *WBAN* e por apenas 1 sensor-pai. Este, por sua vez, executa os quatro *scripts*, simulando o comportamento do *MOMICARE*.

Como o *Cooja* não possui um módulo para verificação do consumo de energia dos sensores, foi desenvolvida uma aplicação que calcula o consumo energético da interface de rádio de cada um dos sensores-filho, a partir da seguinte fórmula:

$$\text{ConsumoEnergetico} = (TX + RX) * 20 * 3 \quad (1)$$

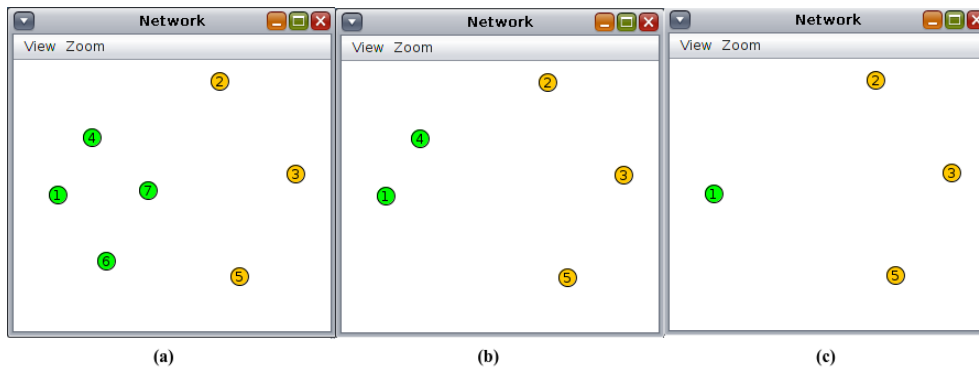


Figura 3. Os cenários de simulação. Em (a), considerando quatro aplicações independentes. Em (b), considerando duas aplicações. Em (c), considerando uma aplicação (modelo *MOMICARE*)

onde TX representa a porcentagem de tempo que o sensor esteve transmitindo dados; RX representa a porcentagem de tempo que o sensor esteve recebendo dados, a constante 20 representa a corrente, em *miliampères*, que a interface de comunicação do sensor utiliza ao transmitir ou receber dados; e a constante 3 representa a tensão, em *volts*, utilizada pelo sensor. O consumo energético é dado em *watts*. Neste cálculo não foi considerado o consumo energético do processador de cada um dos sensores pois o objetivo desta avaliação é verificar o impacto energético a partir da comunicação entre sensores, analisada a partir dos cenários descritos nesta Seção.

Cada um desses cenários foi executado durante 1 hora no emulador. O consumo energético registrado por cada um dos sensores-filho é demonstrado na Figura 4.

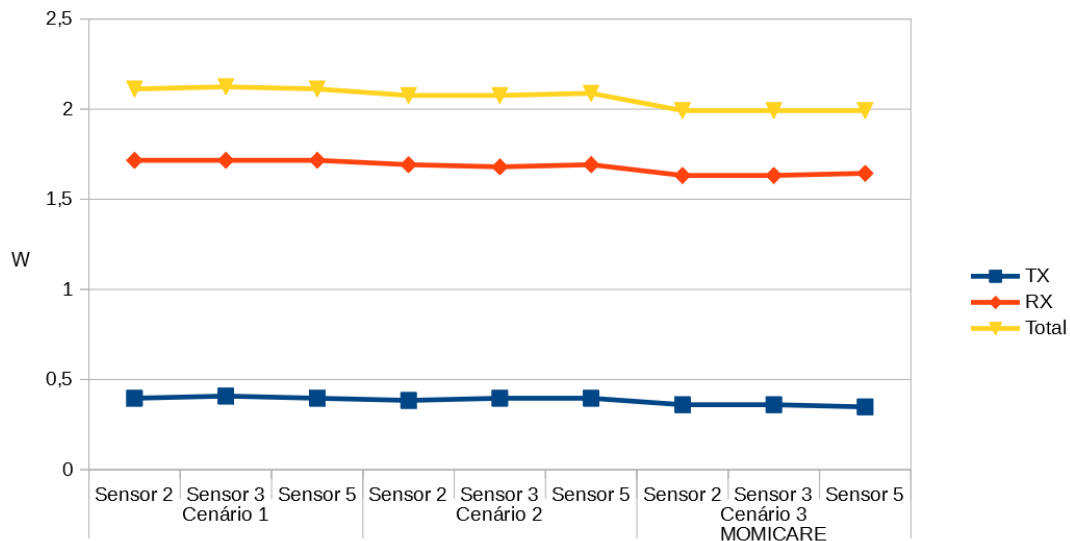


Figura 4. Consumo energético dos sensores nas simulações realizadas.

Como resultados obtidos, verificou-se primeiramente que a simulação considerando o cenário de uso do *MOMICARE* apresentou uma redução de 4,2% no consumo energético dos sensores-filho em relação ao Cenário 2 e de 5,9% em relação ao Cenário 1. Isso demonstra que somente pelo uso de um canal único de comunicação entre os sensores e as aplicações já apresenta benefícios em relação ao consumo de energia.

Além disso, verificou-se também a possibilidade de implementar a sincronização por ordem de eventos de acordo com a metodologia descrita no modelo. Conforme exposto na Figura 5, há o registro do horário (*timestamp*) em que houve trocas de dados entre os sensores-pai e filho, bem como a informação entre quais sensores essa troca ocorreu.

A análise efetuada a partir dessa simulação também permitiu verificar que o *middleware* pode tornar-se escalável replicando-se os dados entre vários *smartphones*, conforme já demonstrado no trabalho de [Castillejo et al. 2013]. Por fim, a segurança na comunicação pode ser implementada através dos recursos contidos nos protocolos de enlace [IEEE 2011] [SIG 2016].

No.	Time	From	To	Data
118+1	02:40.024	1	2	97: 0x41C806CD ABFFFF01 01010001 7412007A 3B3A1A9...
120+6	02:40.032	1	-	97: 0x41C806CD ABFFFF01 01010001 7412007A 3B3A1A9...
127+1	02:40.060	1	3	97: 0x41C806CD ABFFFF01 01010001 7412007A 3B3A1A9...
129+16	02:40.068	1	-	97: 0x41C806CD ABFFFF01 01010001 7412007A 3B3A1A9...
146+1	02:40.137	1	5	97: 0x41C806CD ABFFFF01 01010001 7412007A 3B3A1A9...
148	02:40.145	1	-	97: 0x41C806CD ABFFFF01 01010001 7412007A 3B3A1A9...
149	02:42.865	3	1	76: 0x61CC0BCD AB010101 00017412 00030303 0003741...
150	02:42.868	1	3	5: 0x02000B6B 0B

Figura 5. Registros dos horários em que houve troca de dados entre os sensores.

6. Conclusão

O uso de sensores corporais para cuidados médicos apresenta diversos desafios, como o sincronismo entre os sensores e a duração da bateria desses dispositivos. Um resposta a isso é apresentado no modelo *MOMICARE*, um *middleware* instalado num dispositivo móvel - como um *smartphone* - que recebe os dados de diversos sensores corporais, sincroniza-os e armazena-os, retransmitindo-os às aplicações médicas que solicitem esses dados. Nos cenários avaliados, verificou-se que o *MOMICARE* reduziu o consumo de energia dos sensores *IoT* corporais, bem como constatou-se a possibilidade de realizar o sincronismo entre os dados recebidos pelos diversos sensores a partir da metodologia apresentada no modelo.

Como trabalhos futuros, pretende-se desenvolver um protótipo que valide os dados preliminares obtidos a partir dessa simulação, bem como avaliar se as lacunas de segurança e escalabilidade dos sensores também podem ser suportados pelo *middleware* sem prejuízos no que diz respeito ao consumo energético dos sensores e à sincronização entre esses dispositivos.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer ao CNPq pelo apoio a esta pesquisa.

Referências

Castillejo, P., Martinez, J. F., Rodriguez-Molina, J., and Cuerva, A. (2013). Integration of wearable devices in a wireless sensor network for an E-health application. *IEEE Wireless Communications*, 20(4):38–49.

Contiki (2017). Contiki open source operating system. Disponível em: <<http://www.contiki-os.org>>. Acesso em: 05.fev.2017.

- Djenouri, D. and Bagaa, M. (2016). Synchronization protocols and implementation issues in wireless sensor networks: A review. *IEEE Systems Journal*, 10(2):617–627.
- Goswami, S., Roy, P., Dey, N., and Chakraborty, S. (2016). Wireless body area networks combined with mobile cloud computing in healthcare: A survey. In *Classification and Clustering in Biomedical Signal Processing*, pages 388–402. IGI Global.
- IBGE, I. B. d. G. e. E. (2015). Séries estatísticas e históricas. Disponível em: <<http://seriesestatisticas.ibge.gov.br/series.aspx?no=13&op=0&vcodigo=MS44>>. Acesso em: 29.set.2015.
- IEEE (2011). *802.15.4 Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs)*, volume 2011.
- Jung, E. Y., Kim, J. H., Chung, K. Y., and Park, D. K. (2013). Home health gateway based healthcare services through U-health platform. *Wireless Personal Communications*, 73(2):207–218.
- Lane, N. D., Lin, M., Mohammad, M., Yang, X., Lu, H., Cardone, G., Ali, S., Doryab, A., Berke, E., Campbell, A. T., et al. (2014). Bewell: Sensing sleep, physical activities and social interactions to promote wellbeing. *Mobile Networks and Applications*, 19(3):345–359.
- Lee, Y.-G., Jeong, W. S., and Yoon, G. (2012). Smartphone-Based Mobile Health Monitoring. *Telemedicine and e-Health*, 18(8):585–590.
- Maia, P., Baffa, A., Cavalcante, E., Delicato, F. C., Batista, T., and Pires, P. F. (2015). A middleware platform for integrating devices and developing applications in e-health. In *Computer Networks and Distributed Systems (SBRC), 2015 XXXIII Brazilian Symposium on*, pages 10–18. IEEE.
- Merrell, R. C. and Doarn, C. R. (2014). m-Health. *Telemedicine and e-Health*, 20(2):99–101.
- Moser, L. E. and Melliar-Smith, P. (2015). Personal health monitoring using a smartphone. In *2015 IEEE International Conference on Mobile Services*, pages 344–351. IEEE.
- Riazul Islam, S. M., Humaun Kabir, M., and Hossain, M. (2015). The internet of things for health care: A comprehensive survey. *IEEE Access*, 3:678–708.
- Seeger, C., Van Laerhoven, K., and Buchmann, A. (2015). Myhealthassistant: An event-driven middleware for multiple medical applications on a smartphone-mediated body sensor network. *IEEE journal of biomedical and health informatics*, 19(2):752–760.
- Shankar, S. K. and Tomar, A. S. (2016). A survey on wireless body area network and electronic-healthcare. In *Recent Trends in Electronics, Information & Communication Technology (RTEICT), IEEE International Conference on*, pages 598–603. IEEE.
- SIG, B. S. I. G. (2016). Bluetooth low energy. Disponível em: <<https://www.bluetooth.com/what-is-bluetooth-technology/bluetooth-technology-basics/low-energy>>. Acesso em: 15.set.2016.
- Wang, K. I. K., Dubey, S., Rajamohan, A., and Salcic, Z. (2015). An Android-Based Mobile 6LoWPAN Network Architecture for Pervasive Healthcare. *Proceedings - 2015 International Conference on Intelligent Environments, IE 2015*, pages 49–56.

Compreendendo o Desempenho de Gerenciadores de Contexto para Internet das Coisas

Ivan Zyrianoff, Fabrizio Borelli, Alexandre Heideker,
Gabriela Biondi, Carlos Kamienski

Universidade Federal do ABC (UFABC)

ivan.dimitry@aluno.ufabc.edu.br, fabrizio.borelli@ufabc.edu.br
{alexandre.heideker,gabriela.biondi,cak}@ufabc.edu.br

Resumo. *Sistemas de Gerenciamento Sensíveis ao Contexto tem sido propostos para realizar a tomada de decisão automática para a Internet das Coisas. Embora escalabilidade seja uma característica imprescindível nesses sistemas, não existem resultados abrangentes de desempenho disponíveis. Esse artigo apresenta resultados de avaliação de desempenho de diferentes arquiteturas sensíveis ao contexto e apresenta a ferramenta SenSE, que gera dados sintéticos de sensores. Os resultados mostram que diferentes escolhas de arquitetura impactam no desempenho e na escalabilidade do sistema e que é factível a tomada de decisão em tempo real em um ambiente com dezenas de milhares de sensores enviando dados continuamente.*

Abstract. *Context-Aware Management Systems have been proposed in the last years to perform automatic decision making for the Internet of Things. Although scalability is an indispensable feature for those systems, there are no comprehensive results reporting their performance. This paper shows results of a performance analysis study of different context-aware architectures and introduces the SenSE platform for generating sensor synthetic data. Results show that different architectural choices impact system scalability and that automatic real time decision-making is feasible in an environment composed of dozens of thousands of sensors that continuously transmit data.*

1 Introdução

A geração e o uso eficiente de energia estão atualmente em evidência, pelo impacto ambiental e uso sustentável dos recursos naturais. Como a demanda mundial por energia tende a crescer, surge o desafio de usar soluções tecnológicas para gerenciar seu uso de maneira mais eficiente. Cidades inteligentes aceleram o crescimento econômico sustentável e a qualidade de vida com um gerenciamento adequado dos recursos naturais através de um processo participativo de governança [Caragliu et. al 2011]. A Internet das Coisas (IoT) desempenha um papel fundamental na implantação de cidades inteligentes, viabilizando a coleta de dados de uma enorme quantidade de sensores, a análise de dados, tomada de decisões e o envio de comandos para atuadores que alteram o comportamento dos sistemas. A computação baseada em contexto oferece a inteligência necessária à IoT, junto com big data e outras tecnologias, permitindo a modificação dos comportamentos na velocidade necessária sem a intervenção humana direta [Osello et. al 2013].

Sistemas de gerenciamento sensíveis aos contexto para Cidades Inteligentes baseado em IoT recebem uma quantidade imensa de dados provenientes de sensores de diversos tipos e funções e devem tomar decisões para enviar comandos a atuadores para que o ambiente sofra alterações automáticas. Para que o sistema seja capaz de tratar desses

dados e enviar respostas em tempo real, principalmente quando o ambiente gerenciado pode ser tão reduzido quanto uma sala ou tão grande quanto uma cidade, alto desempenho e escalabilidade são fundamentais. Embora escalabilidade seja uma característica imprescindível nesses sistemas, não existem resultados abrangentes de desempenho disponíveis.

Este artigo apresenta uma avaliação de desempenho de gerenciadores de contextos para ambientes de IoT, usando o sistema IMPReSS [Kamienski et. al 2016] como estudo de caso, no qual o impacto de diferentes módulos e implementações foram avaliados. Para realizar a avaliação de desempenho foi desenvolvido o simulador SenSE, que gera dados sintéticos de diferentes categorias de sensores. Considerando que a literatura não apresenta avaliações de desempenho de sistemas sensíveis ao contexto para IoT, esse artigo apresenta três contribuições principais: 1) A metodologia de avaliação, que foi desenvolvida especialmente para esse artigo; 2) O simulador de sensores SenSE, necessário para testar a escalabilidade da solução; 3) Os resultados da avaliação de desempenho considerando diferentes arquiteturas de gerenciadores de contexto, que mostram a escalabilidade da solução.

Na sequência desse artigo a seção 2 apresenta trabalhos relacionados e a seção 3 apresenta uma visão de gerenciamento sensível ao contexto para IoT. As seções 4 e 5 apresentam a metodologia e os resultados de avaliação, respectivamente. A seção 6 discute os resultados e as lições aprendidas e finalmente a seção 7 tece conclusões.

2 Trabalhos Relacionados

Em [Perera et al. 2014] foi apresentado um amplo estudo sobre computação sensível ao contexto em IoT, incluindo comparações de diversas características técnicas de soluções comerciais existentes. Porém, o estudo comparativo foi restrito às características, não envolvendo a avaliação de desempenho de nenhuma das ferramentas.

Em [Mongiello et al 2016] é proposto um middleware para IoT se adapta de acordo com o contexto, usando o paradigma de programação reflexiva. Apesar de apresentar um middleware para IoT, esta proposta se difere da deste artigo em dois pontos: (1) não faz o gerenciamento do contexto, mas sim uma adaptação de acordo com o contexto; e (2) não apresenta uma avaliação de desempenho para mostrar o comportamento em situações de alta latência.

A construção de um servidor de banco de dados para um *middleware* de IoT é apresentada em [Paethong et al. 2016], com desempenho satisfatório e custo acessível. Esta pesquisa faz a avaliação de desempenho comparando o MongoDB e o MySQL em operações de CRUD. Apesar de avaliar o impacto do uso de banco de dados, o trabalho não considera o processamento destes por um gerenciador de contexto.

Finalmente em [Aman et al. 2016] é apresentado um estudo sobre a paralelização dos sistemas de *middleware* para IoT, através de uma avaliação de desempenho que considera o uso da tecnologia *multicore*. Porém, os autores não consideram em sua avaliação o impacto dos diversos componentes de um gerenciador de contexto. Não foram encontrados na literatura trabalhos diretamente relacionados à avaliação de desempenho de gerenciadores de contexto.

3 Gerenciamento de Contexto em IoT

A arquitetura de um gerenciador de contexto em sistemas de IoT deve conter alguns módulos básicos para que seu propósito seja atingido. A implementação de cada um desses componentes pode ser realizada com diferentes combinações de ferramentas ou

com implementações específicas (*hardcoded*). A Figura 1 apresenta uma visão simplificada da arquitetura de um gerenciador de contexto em sistemas de IoT (outros módulos foram omitidos para prezar pela clareza).

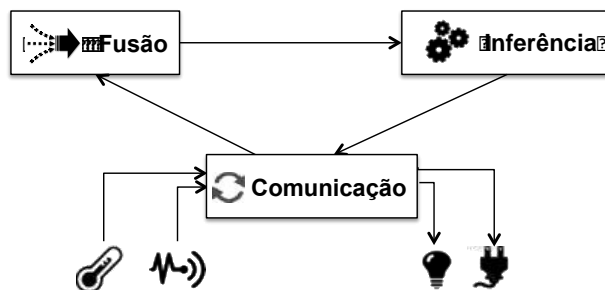


Figura 1. Arquitetura de Gerenciamento de Contexto

- **Fusão:** Realiza a fusão de dados, usando um conjunto de técnicas para combinar dados de múltiplas fontes. Seu propósito é obter dados mais precisos, aumentando a sua granularidade. A fusão é um passo importante para diminuir a carga de dados para a inferência, mas esse módulo não é obrigatório na arquitetura.
- **Inferência:** O motor de Inferência infere consequências lógicas de um conjunto de fatos. Quando invocado pela Fusão com um conjunto de parâmetros, ele faz o casamento com um conjunto de regras. Caso uma regra seja encontrada, ações são executadas que enviam comandos a atuadores.
- **Comunicação:** Receber os dados dos sensores e envia comandos aos atuadores.

Nesse artigo é utilizada a implementação de gerenciador de contexto do IMPReSS [Kamiński et. al 2015], que usa os mesmos componentes da Figura 1 sendo que para Fusão, Inferência e Comunicação são utilizados Esper¹, Drools² e broker MQTT Mosquitto³ respectivamente.

4 Cenário: Ambientes de IoT em Cidades Inteligentes

O ambiente dos experimentos foi baseado na modelagem de Cidades Inteligentes criada na cidade Pádua na Itália [Zanella et. al., 2014].

4.1 Gerador de tráfego – SenSE (*Sensor Simulation Environment*)

Apesar de existirem diversas propostas de *middlewares* e sistemas de tempo real para IoT e Cidades Inteligentes, não existe uma plataforma de testes adequada para comprovar a eficiência e escalabilidade desses softwares, principalmente em cenários envolvendo milhares de dispositivos conectados. Para a realização da avaliação de desempenho foi desenvolvido o SenSE (*Sensor Simulation Environment*) [Zyrianoff et. al 2017], um gerador de dados sintéticos de sensores de código aberto⁴. O objetivo do SenSE é simular o tráfego de dados gerado em ambientes complexos que geram grande quantidade de dados simultaneamente, enviando esses dados para os sistemas através de protocolos IoT como o MQTT (usado nesse artigo).

O estudo de sensores em ambientes IoT identificou dois grandes grupos de sensores que se diferenciam pelo modo de gerar os dados:

¹ <http://www.espertech.com/>

² <https://www.drools.org>

³ <https://mosquitto.org/>

⁴ <https://github.com/ivanzy/SenSE-Sensor-Simulation-Environment>

- Sensores movidos por tempo: enviam dados periodicamente para reportar um estado (ex.: um sensor de qualidade do ar que envia dados a cada 30 minutos);
- Sensores movidos por evento: enviam dados caso o seu estado atual seja alterado (ex.: um sensor de presença que só envia dados caso alguma presença seja detectada).

A ferramenta SenSE permite criar vários tipos de sensores com base em distribuições de probabilidade, sendo possível criar tanto sensores movidos por tempo quanto por evento. Além disso é possível definir o tipo de sensor (ex.: temperatura ou qualidade do ar), a periodicidade no envio de dados (ex.: a cada 30 segundos ou a cada 6 horas), o tipo de dado a ser enviado (ex.: inteiro, booleano, dentro outros), bem como o intervalo de valores desse tipo de dado (ex: um sensor de temperatura envia dados com valor mínimo de 25 e máximo de 30, para graus Celsius), além de outras configurações específicas. O SenSE é capaz de simular dezenas de milhares de sensores, de diversas configurações, simultaneamente e em uma única execução. A Figura 2 mostra uma interface de configuração do SenSE.

Figura 2. SenSE (Sensor Simulation Environment)

O SenSE utiliza filas de tarefas para simular uma grande quantidade de sensores movidos por tempo. Cada tipo de sensor possui uma fila e eles são instanciados em um tempo aleatório seguindo a distribuição Uniforme entre o tempo zero e a periodicidade daquele tipo de sensor. Por exemplo, sensores de qualidade do ar enviam dados com periodicidade de 30 minutos. Em uma simulação de 10.000 sensores de qualidade do ar, todos iniciam o envio de dados na primeira meia hora do experimento.

É complexo modelar sensores movidos a evento, já que é necessário uma mudança no seu estado gerada por algum fator externo. Considerando um cenário de Cidades Inteligentes, foram modelados sensores cujo acionamento é causado pelo comportamento humano e a modelagem é feita para simular pessoas chegando à um evento (ex.: pessoas chegando a um estádio) e a chegada de um indivíduo modifica o estado do sensor, fazendo com que uma mensagem seja enviada.

4.2 Ambiente de Avaliação

A modelagem dos sensores considera cinco tipos de sensores movidos por tempo e apenas um movido por evento, caracterizados na Tabela 1. O objetivo é submeter o sistema a uma carga semelhante à encontrada em ambientes de computação urbana reais, já que os tipos de sensores escolhidos e seus tempos de envio se baseiam em um cenário real [Zanella et. al., 2014]. A avaliação de desempenho utiliza uma carga de trabalho de dezenas de milhares de sensores, para avaliar a escalabilidade da solução.

No ambiente de execução dos experimentos o SenSE envia dados simulados de sensores para uma plataforma IoT (nesse caso, um gerenciador de contexto) que realiza

algum tipo de processamento e transmite a informação para os atuadores. Foi desenvolvida uma aplicação *Sink* que abstrai um conjunto de atuadores, recebendo os dados processados e salvando os mesmos. Além disso, o SenSE foi configurado para enviar um *timestamp* em cada mensagem e o *Sink* marca o *timestamp* de chegada da mensagem e realiza uma operação de subtração para descobrir o tempo de processamento de cada mensagem pela plataforma IoT. Perdas da rede foram abstraídas, pois o intuito é avaliar o desempenho e escalabilidade da plataforma IoT isolada, e uma falha iria gerar dúvidas se o problema foi da plataforma ou da rede.

Tabela 1. Lista de sensores utilizados nos experimentos

Tipo de Sensor	Taxa de envio (pacotes)	Categoria
Qualidade do ar	1 mensagem a cada 30 min por sensor	Tempo
Barulho	1 mensagem a cada 30 min por sensor	Tempo
Estrutura de edifícios	1 mensagem a cada 10 min por sensor	Tempo
Congestionamento (trânsito)	1 mensagem a cada 10 min por sensor	Tempo
Gestão de resíduos	1 mensagem a cada 60 min por sensor	Tempo
Iluminação	1 mensagem quando alguém é detectado	Evento

Para a execução dos experimentos, o gerenciador de contexto foi executado em um servidor dedicado com configuração de processador Intel(R) Xeon(R) CPU E3-1240 V2 @ 3.40GHz, 450 GB HD de disco, 8GB de memória RAM e o sistema operacional Ubuntu 14.04. Em uma máquina virtual localizada em outro servidor estava sendo executado o SenSE e o *Sink*. A configuração da VM é Intel Xeon E5520 2.27 Ghz Octa Core (Virtual), possui 11GB de RAM e 80GB de HD.

4.3 Fusão de Dados e Inferência de Regras

Nos experimentos realizados com o módulo de Fusão há um critério de fusão para cada tipo de sensor apresentado na Tabela 1 que retransmite a mensagem. Neste caso específico, o módulo responsável pela fusão dos dados não agrega mensagens. Nos experimentos foi utilizado o Esper como módulo de Fusão.

Foram criadas 6 regras para esse cenário, uma para cada tipo de sensor apresentado na Tabela 1. Experimentos preliminares mostraram que o número de regras não apresenta impacto significativo no desempenho do motor de regras (nesse caso, o Drools). Além disso, o objetivo é avaliar a plataforma como um todo e não somente o módulo do motor de inferência. A inferência é realizada sobre a mensagem recebida do módulo anterior - dependendo da arquitetura a mensagem pode vir do módulo de Fusão ou diretamente de um pré-processamento *hardcoded* realizado na mensagem do sensor, acionando uma regra que irá gerar uma ação e fará com que seja enviada uma mensagem para um atuador (no caso, para o *Sink*).

5 Metodologia de Avaliação

5.1 Métricas

Com base nos dados obtidos, é calculado o tempo médio total que uma mensagem leva para ser processada no gerenciador de contexto inteiro, obtida pela média de tempo que cada mensagem leva para percorrer todos os componentes do sistema, até ser recebida pelo atuador. Também é registrada a taxa de entrega do sistema, com o objetivo de verificar se a plataforma avaliada possui alguma taxa de perda de mensagens em picos de processamento.

5.2 Experimentos

Os experimentos de avaliação de desempenho medem o tempo de resposta e a taxa de entrega de mensagens entre uma ação e a reação do contexto no cenário controlado. O SenSE foi utilizado para simular diversas quantidades de sensores diferentes enviando mensagens, de modo a tornar possível a compreensão do funcionamento do gerenciador de contexto, em um ambiente de cidades inteligentes.

Para compreender o impacto de diferentes tipos de sensores foram realizados experimentos apenas com sensores movidos por tempo, apenas com sensores movidos a evento e experimentos com os dois tipos de sensores juntos. A Tabela 2 mostra os fatores e níveis utilizados nessa avaliação. Cada experimento foi replicado trinta vezes e o intervalo de confiança assintótico foi calculado com nível de confiança de 99%.

Para a realização dos experimentos, foi instanciada a mesma quantidade de sensores movidos por tempo apresentados na Tabela 1. Ou seja, se o experimento é feito com 25.000 sensores e existem cinco tipos diferentes de sensores movidos a tempo, então serão instanciados 5.000 sensores de cada tipo. O envio de mensagens dos sensores movidos por evento é gerado por uma distribuição de Poisson, e o parâmetro λ (lambda) define a taxa de chegada de pessoas a um evento simulado. Foi observado que a taxa de chegada de pessoas em uma evento típico (ex: chegada de pessoas à um estádio) varia em três momentos: a) Início: antes e instantes após o início, com taxa de chegada moderada, uma vez que as pessoas chegam com antecedência ou um pouco atrasados ao evento em tempos diferentes; b) Meio: durante o evento a taxa de chegada é pequena, pois poucos indivíduos entram e saem do evento; c) Fim: após o término do evento a taxa de chegadas é alta pois todos os indivíduos costumam sair ao mesmo tempo. Por exemplo, quando a taxa de chegada é X indivíduos por segundo no Início, no Meio é diminuída para X/10 e no Fim ela assume 3X.

Tabela 2. Fatores e Níveis dos Experimentos

Fator	Níveis
Número de sensores movidos por tempo	0, 25.000, 50.000
Taxa de chegada (por segundo) para sensores movidos por evento	0 – 6 – 12
Configuração do gerenciador de contexto	C1, C2, C3, C4

Como um dos objetivos da avaliação é identificar o impacto de diferentes módulos de software em plataformas de gerenciamento de contexto em ambientes IoT, foram realizados experimentos para avaliar diferentes arquiteturas possíveis (Figura 3). Foram realizados experimentos com e sem o módulo de Fusão e experimentos com o módulo de Inferência desempenhado pelo Drools (C2 e C4) e por uma solução específica *hard coded* por um trecho de código em Java (C1 e C3). A configuração padrão da plataforma avaliada é a C4.

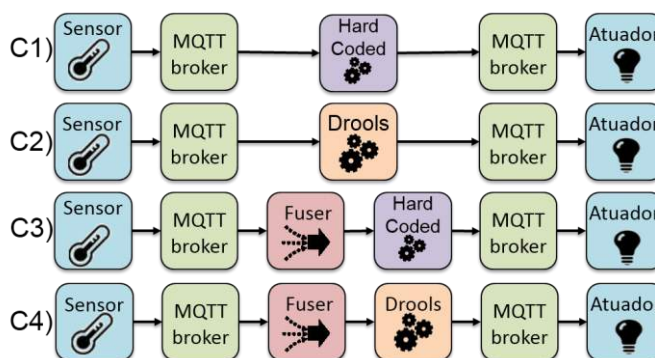


Figura 3. Configurações da arquitetura do gerenciador de contexto

Cada experimento possui um tempo fixo de 5 minutos e visa simular um janela de tempo de um ambiente de cidades inteligentes, com diversos sensores enviando mensagens. Em experimentos nos quais existem sensores movidos a evento, o tempo dos experimentos é dividido em três períodos diferentes de envio de mensagem. O evento simulado acontece em 2/3 do tempo do experimento, ou seja, 3min e 20s.

6 Resultados

Os resultados apresentados nessa seção estão divididos por categoria de sensor, tempo e evento. Não são apresentados resultados referentes à taxa de entrega pois a plataforma não perdeu mensagens em nenhum experimento. As legendas dos gráficos referem-se as configurações do gerenciador de contexto denotadas na Figura 3.

6.1 Impacto de Sensores Movidos por Tempo

Os resultados para o tempo médio que uma mensagem leva para ser processada pelo gerenciador de contexto quando submetido a um cenário somente com sensores movidos por tempo são apresentados na Figura 4. É possível observar o efeito do aumento de carga do número de sensores enviando mensagem ao sistema na plataforma, bem como o impacto desse aumento nas diferentes configurações avaliadas.

Na maioria das configurações, não houve aumento significativo do tempo médio entre os experimentos realizados com 25.000 sensores e 50.000 sensores. Além disso, os intervalos de confiança são pequenos se comparados à média. Além disso, o maior tempo de processamento é cerca de 140 ms, considerado suficiente para que a plataforma interaja com as pessoas em um cenário real.

A única configuração que destoa é sem utilização do módulo de Fusão, mas com o uso do Drools fazendo a inferência de regras (C2). Nesse caso, a plataforma exige poder de processamento do motor de inferência, mas como as otimizações de desempenho do Esper não estão presentes, ocorre um crescimento do tempo de processamento. Esse comportamento repete-se nos experimentos posteriores.

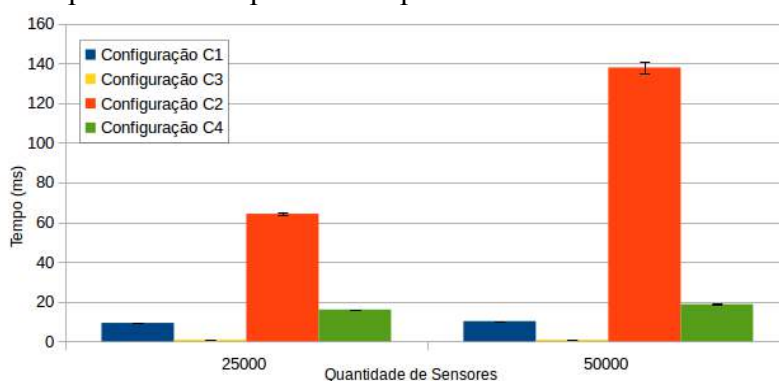


Figura 4. Impacto de sensores movidos por tempo

Analisando a configuração sem a utilização do Drools e sem o módulo de Fusão nota-se bons resultados, já que os módulos que exigem mais processamento foram retirados e implementados com soluções simples e pontuais. Experimentos com apenas o módulo responsável pela fusão e com a solução *hard coded* de inferência de regras apresentam o menor tempo de processamento. Isto é esperado, já que o Esper implementa diversas otimizações de desempenho e não existe outra aplicação que exija processamento, como um motor complexo de inferência de regras.

Experimentos com a plataforma completa (C4) indicam que o gerenciador de contexto é adequado para funcionar com sensores movidos por tempo, apresentando um

baixo tempo de resposta - inferior a 20 ms - em ambas cargas de trabalho. O baixo crescimento na comparação entre 25.000 e 50.000 sensores indica que a plataforma é escalável para sensores dessa categoria.

6.2 Impacto de Sensores Movidos por Evento

A Figura 5 mostra o tempo médio que uma mensagem leva para percorrer a plataforma em um cenário apenas com sensores movidos por eventos. É possível observar o efeito do aumento da taxa de chegada de indivíduos por segundo na plataforma, bem como o impacto desse aumento nas diferentes configurações testadas.

Neste tipo de experimento, o tráfego de mensagens não é constante como nos experimentos envolvendo apenas sensores movidos por tempo. Não houve mudanças significativas quando se aumenta a carga de trabalho, indicando que o sistema é escalável para esse tipo de sensor.

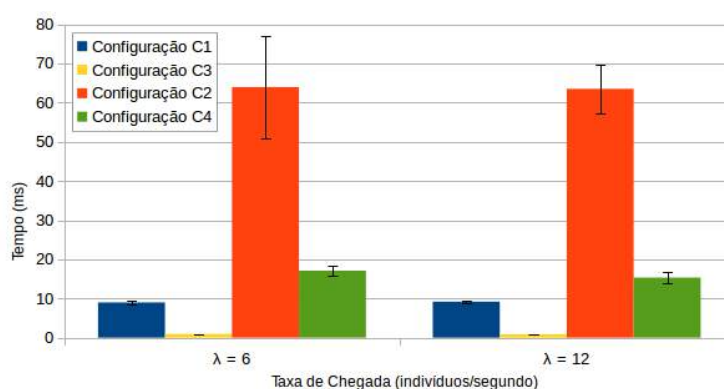


Figura 5. Impacto de sensores movidos por evento

Os experimentos que não utilizam o Esper e utilizam o Drools motor de inferência de regras (configuração C3) se destacam dos demais, inclusive no comportamento nos experimentos com sensores movidos por tempo. O motivo continua sendo as otimizações de desempenho presentes no Esper. O intervalo de confiança maior é esperado devido a pouca regularidade desses sensores quando comparado aos sensores movido por tempo.

Nos demais experimentos obteve-se um tempo de resposta menor do que 20 ms, ideal para esse tipo de sensor que costuma demandar uma ação imediata da plataforma. O intervalo de confiança reduzido implica na pouca variação dos experimentos, indicando uma consistência nesse tempo de resposta, mesmo se tratando de sensores irregulares nos seus envios. O tempo médio de processamento para cada configuração adotada segue o mesmo comportamento observado na seção 6.1. Os experimentos com o módulo de Fusão e o Drools apresentaram um rápido tempo de resposta e um pequeno intervalo de confiança, indicando que a plataforma é capaz de lidar com esse tipo de tráfego e prover uma resposta no tempo adequado.

6.3 Impacto de Sensores Movidos por Tempo e por Evento

Os resultados para o tempo médio que uma mensagem leva para ser processada pelo gerenciador de contexto em um cenário com sensores movidos por evento e tempo são apresentados na Figura 6. Nota-se um destaque dos experimentos com Drools e sem o módulo responsável pela fusão. Isso acontece pois o Drools requer processamento, e nesse caso não há as otimizações presentes no Esper⁵. O tempo de processamento

⁵ <http://www.espertech.com/esper/performance.php>

manteve-se baixo para a maioria dos casos, apresentando um tempo de resposta inferior a 40 ms em todas as configurações. Os valores de tempo de processamento para as diversas configurações testadas seguem o padrão dos experimentos já apresentados.

Observa-se um pequeno crescimento no tempo de processamento conforme a carga de trabalho aumenta nos experimentos com a configuração C4. Esse padrão de crescimento é esperado, porém sua proporção reduzida indica que o sistema é escalável e portanto consegue lidar com diferentes tipos de sensores e prover uma rápida resposta.

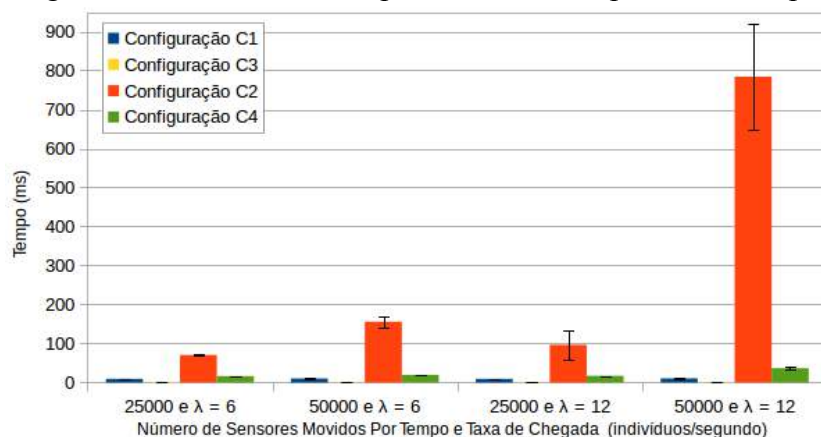


Figura 6. Impacto conjunto de sensores movidos por tempo e por evento

7 Discussão

Existem diversas propostas de sistemas de computação urbana que utilizam Internet das Coisas para controlar dispositivos em tempo real com gerenciamento sensível ao contexto. No entanto, não existem avaliações de desempenho abrangentes desses sistemas, não sendo possível comprovar a escalabilidade dessas plataformas. Alta escalabilidade deve ser uma característica essencial, uma vez que essas tais plataformas se destinam a automatizar ambientes com grande número de sensores e atuadores.

Desenvolvedores devem se atentar a questões de desempenho e escalabilidade nas escolhas referentes a arquitetura de gerenciadores de contexto, além de definir se irão utilizar ferramentas já existentes no mercado ou desenvolverão as próprias soluções específicas, estando cientes que essa escolha pode impactar no desempenho e flexibilidade da plataforma. Os experimentos apresentados evidenciam que diferentes configurações impactam significativamente no tempo de resposta da plataforma. Um exemplo é o impacto do módulo de Fusão, desempenhado pelo Esper, que torna a plataforma mais escalável e rápida. Já o Drools demonstrou ser menos escalável, mas obteve resultados satisfatórios.

Uma das contribuições do projeto é o SenSE, uma ferramenta que possibilita a realização de testes em plataformas desenvolvidas para cenários grandes e complexos de Internet das Coisas, tornando possível avaliar a escalabilidade desses sistemas, identificando possíveis gargalos, antes que sejam implementados em cenários reais.

O gerenciador de contexto avaliado é uma plataforma para automatização predial que visa tornar o sistema energeticamente eficiente. A plataforma se mostrou robusta, não perdendo nenhuma mensagem em nenhum experimento, mesmo com a carga de trabalho alta. Os resultados da avaliação mostram que a plataforma possui um tempo de resposta muito baixo, tanto em ambientes mais regulares (experimentos apenas com sensores movidos a tempo), quanto em ambientes em que o envio de mensagens era irregular (experimentos apenas com sensores movidos a evento). Quando a plataforma

foi submetida a experimentos nos quais os dois tipos de sensores enviaram mensagens, ela apresentou um bom comportamento, mesmo com dezenas de milhares de sensores enviando mensagens. Isso evidencia que o sistema é adequado para funcionar em ambientes de larga escala, onde há uma grande heterogeneidade de dispositivos conectados, uma das mais importantes características de redes IoT.

8 Conclusão

Esse artigo apresenta o impacto de diferentes escolhas de arquitetura em gerenciadores de contexto para redes IoT na escalabilidade e desempenho da plataforma, para isso é apresentado um Gerenciador de Contexto juntamente com uma avaliação quantitativa e qualitativa da plataforma com diferentes configurações. Foi desenvolvida a plataforma SenSE, capaz de simular sensores presentes em uma Cidade Inteligente. Os experimentos realizados com diversas cargas de trabalho mostraram que o gerenciador de contexto avaliado é apropriado para ambientes complexos de IoT, provendo uma rápida reposta quando solicitado. A avaliação de desempenho possibilitou compreender melhor o comportamentos de diversos componentes encontrados em gerenciadores de contexto, principalmente dos responsáveis pela realização de fusão de dados e do processamento de regras. Como trabalhos futuros, pretende-se implementar novas versões da arquitetura do gerenciador de contextos, inclusive distribuídas.

Referências

- Aman, M. et al (2016) “Parallelization in software systems used in wireless sensor networks and Internet of Things: Case study: Middleware systems”. WF-IoT 2016: 342-347.
- Caragliu, A., Del Bo, C., Nijkamp, P., “Smart Cities in Europe”, Journal of Urban Technology, 18:2, pp. 65-82, August 2011.
- Kamienski, C., Borelli, F., Biondi, G., Rosa, W., Pinheiro, I., Zyrianoff, I., Sadok, D., Pramudianto, F. (2015), “Context-Aware Energy Efficiency Management for Smart Buildings”, IEEE World Forum on Internet of Things (WF-IoT 2015).
- Kamienski, C., Jentsch M., Eisenhauer M., Kiljander J., Ferrera E., Rosengren P., Thestrup P., Souto E., Andrade W., Sadok D. (2017), “Application development for the Internet of Things: A context-aware mixed criticality systems development platform”, Computer Communication, vol. 104, pp. 1-16.
- Mongiello, M., et al (2016), “Context-Aware Design of Reflective Middleware in the Internet of Everything”. STAF Workshops 2016: 423-435.
- Osello A., et. al (2013), “Energy saving in existing buildings by an intelligent use of interoperable ICTs”, Energy Efficiency, 6(4), pp. 707-723.
- Paethong, P., Sato, M., Namiki, M. (2016), “Low-power distributed NoSQL database for IoT middleware”, Student Project Conference (ICT-ISPC), 2016 Fifth ICT International.
- Perera, C., et. al. (2014), "Context Aware Computing for The Internet of Things: A Survey", IEEE Comm. Surveys & Tutorials, 16(1), First Quarter 2014.
- Zanella, A., Bui, N., Castellani, A., Vangelista, L., Zorzi, M. (2014), "Internet of Things for smart cities", IEEE Internet Things J., vol. 1, no. 1, pp. 22-32.
- Zyrianoff, I.; Borelli, F.; Kamienski, C.; “SenSE – Sensor Simulation Environment: Uma ferramenta para geração de tráfego IoT em larga escala”, 2017. SBRC 2017. Salão de Ferramentas.

Algoritmo de Roteamento Assistido para Comunicação D2D em Sistemas de Segurança Pública sobre Redes LTE Avançadas

Alex Vidigal Bastos^{1,2}, Cristiano M. Silva¹, Diógenes Cecílio da Silva Júnior²

¹ Universidade Federal de São João Del-rei (UFSJ) – MG – Brasil

²Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica
Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)
Av. Antônio Carlos 6627, 31270-901, Belo Horizonte, MG, Brasil

{alexvbh, cristiano}@ufs.j.edu.br, diogenes@ufmg.br

Abstract. *This paper describes a routing algorithm for device-to-device (D2D) communication in cellular architectures with the goal to extend the coverage of base stations in public safety scenarios. The proposed algorithm takes into account that D2D communications in cellular networks are managed by base stations. The Load Balancing Based Selective Ad Hoc On-Demand Multipath Distance Vector (LBS-AOMDV) algorithm is considered as baseline. Experiments taking place on SimuLTE (OMnet++) reveal that the NAR algorithm incurs in (approximately) 11% less data messages when compared to LBS-AOMDV. Furthermore, NAR also consumes (approximately) 35% less energy, although NAR sends more data messages.*

Resumo. *Esse artigo descreve um algoritmo de roteamento para comunicação dispositivo-à-dispositivo (D2D) em arquiteturas celulares tendo como objetivo estender a cobertura das estações base em cenários de segurança pública. O algoritmo proposto leva em consideração que as comunicações D2D em redes celulares são gerenciadas pela estação base. Considera-se como baseline, o algoritmo Load Balancing Based Selective Ad hoc On-Demand Multipath Distance Vector (LBS-AOMDV). Os experimentos foram realizados no simulador SimuLTE (OMnet++) e os resultados demonstram que o algoritmo NAR perde aproximadamente 11% menos mensagens de dados quando comparado ao LBS-AOMDV, apresentando um consumo de energia inferior em aproximadamente 35%, mesmo com o algoritmo NAR enviando mais mensagens de dados em relação ao LBS-AOMDV.*

1. Introdução

Para a próxima geração da telefonia móvel (5G), alguns requisitos como escalabilidade, resiliência e energia são necessários para uma arquitetura de comunicação prover uma comunicação que forneça qualidade de serviço ao usuário. No LTE¹ Avançado (LTE-A)², a comunicação D2D (Dispositivo para Dispositivo) é uma tecnologia candidata para satisfazer aos requisitos necessários e estender a cobertura da rede em cenários de segurança

¹Long Term Evolution.

²LTE-A é um padrão de redes celulares que permite banda larga móvel com altas taxas de transmissão, possibilitando uma maior abrangência de comunicações de voz e transferência de dados.

pública. Oportunidades significativas para criar e explorar alianças entre redes de segurança pública e redes comerciais LTE-A têm sido discutidas no 3GPP³ (*3rd Generation Partnership Project*) para permitir um aumento na capacidade agregada e uma melhora na capacidade da cobertura da rede [Lin et al. 2014]. Com a necessidade de reestruturação das arquiteturas de comunicação para atender aos novos requisitos, novas propostas de implementação e utilização de novas tecnologias têm surgido com o objetivo de diminuir custos operacionais, buscando uma arquitetura que seja mais dinâmica e com uma melhor eficiência energética [Agiwal et al. 2016].

A comunicação D2D em redes celulares é definida como uma comunicação direta entre dois dispositivos móveis sem passar pela estação base (BS) ou núcleo da rede. Comunicação D2D não é transparente para a rede celular e pode ocorrer dentro (*Inband*) ou fora (*Outband*) do espectro celular. Contudo, usuários móveis das redes celulares de hoje utilizam serviços que necessitam de altas taxas de dados que podem ser atingidos através de uma comunicação direta entre os dispositivos, tendo a comunicação D2D não limitada apenas a eficiência espectral, mas permitindo a potencialização no aumento da taxa de transferência, eficiência energética, diminuição dos atrasos e conformidade da rede em diferentes cenários para diferentes casos de uso [Asadi et al. 2014].

Segurança Pública engloba vários setores incluindo a polícia, bombeiros, organizações militares, entre outras organizações para criar um ambiente estável diante de ameaças naturais e/ou provocadas pelo homem. Em cenários como emergências em áreas urbanas, desastres naturais em áreas rurais, desastres nas fronteiras envolvendo diferentes nações e grandes eventos torna-se um desafio prover comunicação entre as diferentes organizações. Os cenários operacionais e as tecnologias utilizadas necessitam de requisitos operacionais como tempo de implantação, segurança, interoperabilidade, resiliência e taxa de dados para prover uma comunicação eficiente [Baldini et al. 2014].

Como principal contribuição, apresenta-se um algoritmo de roteamento (**Roteamento Assistido pela Rede - NAR**) para comunicação D2D em arquiteturas celulares que tem como objetivo estender a cobertura das estações base em cenários de segurança pública. Do ponto de vista de arquiteturas de comunicação D2D, diferentemente das redes *Mobile ad hoc Network* (MANETs⁴) [Dow et al. 2005] e *Cognitive Radio Networks* (CRN⁵) [Kamruzzaman et al. 2011], as comunicações D2D em redes celulares são gerenciadas pela estação base [Asadi et al. 2014]. Diferentemente de outros trabalhos, o algoritmo proposto leva em consideração a característica em que a definição das rotas para a comunicação D2D é definida pela estação base através do menor caminho e da melhor qualidade do canal, alocando blocos de recursos para os dispositivos móveis que participarão da comunicação.

Na avaliação do algoritmo, considera-se como *baseline* o algoritmo *Load Balancing Based Selective Ad hoc On-Demand Multipath Distance Vector* (LBS-AOMDV) [Tata and Kadoch 2014]. Os algoritmos foram implementados no simulador SimuLTE

³3GPP é uma associação que reúne uma série de órgãos normativos de telecomunicações, abrangendo tecnologias de redes de telecomunicações celulares.

⁴MANETs são redes continuamente auto-configuráveis sem infraestrutura para conexão de dispositivos móveis sem fio.

⁵CRN é uma tecnologia habilitada para suportar acesso dinâmico do espectro, considerada como uma das tecnologias mais promissoras para futuras comunicações sem fio.

(OMnet++) ([Virdis et al. 2014]) e os resultados demonstram que o algoritmo NAR perde aproximadamente 11% a menos mensagens de dados em relação ao algoritmo LBS-AOMDV e tem um consumo de energia aproximado de 35% menor em relação ao algoritmo LBS-AOMDV, mesmo com o algoritmo NAR enviando mais mensagens de dados em relação ao algoritmo LBS-AOMDV.

Esse trabalho encontra-se organizado da seguinte forma. A seção 2 apresenta os trabalhos relacionados. A seção 3 apresenta o algoritmo NAR. A seção 4 apresenta o algoritmo utilizado como *baseline*. A seção 5 apresenta os experimentos e resultados encontrados. A seção 6 conclui o trabalho.

2. Trabalhos Relacionados

A comunicação D2D é uma nova tendência em redes celulares. [Asadi et al. 2014] categoriza os diversos tipos de comunicação D2D, distribuídas entre comunicação dentro da banda (*Inband*) e fora da banda (*Outband*). Comunicações dentro de banda usam o mesmo espectro para as comunicações D2D e celular. Já as comunicações fora de banda exploram enlaces fora do espectro celular com o objetivo de reduzir o risco de interferências. Em termos de contexto, esse trabalho propõe uma estratégia baseada em comunicação dentro de banda permitindo alto controle sobre o espectro celular.

Em [Tata and Kadoch 2014] é proposto uma solução para o roteamento de múltiplos caminhos em comunicação D2D sobre Redes Heterogêneas (HetNets)⁶, tendo como particularidade oferecer informações sobre a disponibilidade de largura de banda em cada rota e a redução no número de nós que recebem mensagens de requisição de rota.

Em [Melki et al. 2016] é proposto um modelo de alocação de recursos para habilitar comunicação *multihop* para comunicações D2D em redes celulares LTE-A. É formulado um problema de otimização de taxa de transferência sob as restrições de SINR (*Signal-to-interference-plus-noise ratio*) dos usuários móveis.

Em [Luz and Garcia 2015] foi proposto um algoritmo para implementar um mecanismo de tráfego adaptativo a partir de medidas que verificam a variação de SINR em estações com baixa mobilidade. A proposta é diminuir os quadros de gerenciamento e controle que tem como objetivo apenas a verificação contínua da conexão.

O algoritmo *Interference Aware Routing Algorithm* (IAR) [Yuan et al. 2014] foi proposto para reduzir a interferência D2D causada pela estação base, implementado num modelo baseado em geometria estocástica. O processo de roteamento D2D ocorre ao longo da borda da célula das estações base, em que a distância para estações base adjacentes é maximizada e a interferência agregada para as estações base são minimizadas.

Para minimizar o número de saltos e reduzir o consumo de energia, em [Ren et al. 2013] foi proposto um algoritmo de roteamento ciente de interferência. O algoritmo observa informações geométricas, restrições de interferência e restrições das taxas D2D com foco em reduzir sua complexidade computacional.

De forma geral, esse trabalho diferencia-se dos anteriores pela proposição de um algoritmo de roteamento que utiliza a estação base para gerenciar e definir as rotas a serem

⁶HetNets consistem em redes celulares clássicas que fornecem cobertura total para uma área ampla e células que fornecem capacidade extra para algumas demandas de tráfego [Spiess et al. 2014].

utilizadas na comunicação D2D, analisando o caminho mais curto, realizando a análise da qualidade do canal e alocando os recursos para as rotas selecionadas.

3. Algoritmo "Roteamento Assistido pela Rede - NAR"

NAR é um algoritmo de roteamento fora da banda (de acordo com a classificação de [Asadi et al. 2014]), que visa estender a cobertura celular através da comunicação D2D ou fornecer cobertura temporária quando as estações base estão sobrecarregadas ou inoperantes. Desastres naturais em áreas rurais é um cenário típico em que a comunicação é um dos maiores desafios devido a falta de infraestrutura de comunicação ou porque estão degradadas ou destruídas (terremotos, enchentes). Desta forma, a comunicação D2D pode ser utilizada para estender a cobertura das estações base que estão próximas ao local do evento. A proposta do algoritmo presume as seguintes premissas: a) roteamento D2D é definido pela estação base; b) a comunicação D2D ocorre no espectro celular (*Inband-Underlay*) e c) cada rota tem recursos que são alocados para a comunicação D2D.

NAR define múltiplas rotas entre a estação base e os dispositivos móveis, de acordo com o caminho mais curto e com o melhor indicador de qualidade do canal (CQI⁷), abaixo de um limiar mínimo⁸. O algoritmo NAR é iniciado quando a estação base (BS) recebe uma solicitação (*RROUTE*) de um dispositivo móvel (UE) para realizar uma comunicação D2D. Portanto, a BS estabelece uma rota para conectar-se ao UE. O algoritmo *Dijkstra* é aplicado para encontrar o menor caminho entre a BS e o UE. Um pacote de solicitação (*SREQ*) é enviado da BS para o UE, através do caminho retornado pelo algoritmo *Dijkstra*, solicitando para o UE o conjunto de vizinhos (filhos) e a qualidade do canal de cada vizinho.

Antes de responder com um pacote de resposta (*SREP*), o UE realiza um *broadcast* com uma mensagem de "Olá" (*Hello – msg*) com um tempo de vida (*TTL*) igual a 1. Todos os vizinhos do UE, respondem com um pacote de resposta "Olá" (*Hello – rep*) informando o UE sobre sua existência e sobre a qualidade do seu canal. O conjunto de filhos e os CQIs são transmitidos para a BS através de um pacote de resposta *SREP*. Da mesma forma, (*Hello – msg*) e (*Hello – rep*) são trocados com a BS para ter o conjunto de filhos e os CQIs disponíveis.

Para garantir as múltiplas rotas livres de laços, cada dispositivo envia um *RREQ* para definir seu atributo *RREQ_{Tx}* como desligado. Além disso, cada um recebendo o pacote deve colocar o atributo *RREQ_{Rx}* como desligado. Uma exceção é feita para a BS, que não define o *RREQ_{Tx}* para desligado até enviar o *RREQ* para todos os seus filhos escolhidos como membro das múltiplas rotas. Da mesma maneira, o UE não define seu *RREQ_{Rx}* para desligado, uma vez que não recebeu *RREQ* de todos os seus filhos escolhidos como membro das múltiplas rotas.

Contudo, a BS tem que enviar (*RREQ*) somente para os seus filhos. Sendo que, cada dispositivo tem que selecionar o melhor filho a qual o *RREQ* é encaminhado. Obviamente, o destino não envia o *RREQ* para qualquer lugar, mas pode receber de mais de um filho, estabelecendo múltiplos caminhos. É por isso, que o *RREQ_{Tx}* do destino

⁷CQI significa Indicador de Qualidade de Canal. É um indicador que carrega informações sobre a qualidade do canal de comunicação.

⁸Nós consideramos os 15 valores de CQI apresentados no *release 8* do LTE-A avaliado em <http://www.3gpp.org/specifications/releases/72-release-8>.

UE não está definido até receber uma solicitação de rota de todos os filhos escolhidos como membro de uma rota. NAR é apresentado no **Algoritmo 1**.

Algoritmo 1 Algoritmo NAR

```

1: DADOS:  $G = (V, E)$ ,  $CQI_{min} = 13$                                 ▷ desde que G seja um grafo
2: RESULTADO:  $G_r = (N, P)$                                        ▷ onde N são as rotas e P são os dispositivos
3: Entrada:  $\nu \rightarrow \nu = RROUTE$ 
4: enquanto 1 faça
5:   se  $\nu == RROUTE$  então
6:      $e = \text{dijkstra}(s, d)$                                        ▷ onde s = BS, d = UE
7:     /*  $SREQ$  é enviado de s através de e
8:      $Sreq(d, \text{filhos}(), CQI())$ 
9:     /*  $d \text{ broadcast}$  "Olá" com TTL = 1
10:     $\text{Hello}_{msg}(d, \text{TTL})$ 
11:    para  $n \leftarrow n \in G$  recebendo  $\text{Hello}_{msg}(d, \text{TTL})$  até n-1 faça
12:      /* n responde para d com resposta "Olá"
13:       $\text{Hello}_{rep}(n, d, CQI)$                                        ▷ CQI para o canal
14:       $\text{filhos}(d) = \text{filhos}(d) \cup \{n\}$ 
15:    fim para
16:    /*  $d \text{ unicast } SREP$  para s (como uma resposta para  $RREQ$ )
17:     $SREP(d, s, \text{filhos}(), CQI())$ 
18:    /* s define um conjunto de filhos
19:     $\text{Hello}_{msg}(s, \text{TTL})$ 
20:    para  $n \leftarrow n \in G$  recebendo  $\text{Hello}_{msg}(s, \text{TTL})$  até n-1 faça
21:      /* n responde para s com resposta "Olá"
22:       $\text{Hello}_{rep}(n, s, CQI)$                                        ▷ CQI para o canal
23:       $\text{filhos}(s) = \text{filhos}(s) \cup \{n\}$ 
24:    fim para
25:    /* s constrói o conjunto de filhos pertencentes aos múltiplos caminhos
26:     $\text{ch}(s) = \{n_k \in \text{filhos}(s) \mid CQI(n_k) \geq CQI_{min}\}$ 
27:     $\text{ch}(d) = \{n_l \in \text{filhos}(d) \mid CQI(n_l) \geq CQI_{min}\}$ 
28:     $RREQ(Rreq_{id}, \text{ch}(s), \text{ch}(d), CQI_{min})$ 
29:     $RreqTx(s) = \text{desligado}$ 
30:     $RreqRx(s) = \text{desligado}$ 
31:    para  $nk \leftarrow nk \in \text{ch}(s)$  até nk+1 faça
32:       $RreqRx(s) = \text{desligado}$ 
33:    fim para
34:     $\text{alocaRecursos}()$ 
35:  fim se
36: fim enquanto

```

Assim que o UE recebe o $RREQ$, ele responde com uma resposta de rota $RREP$. $RREP$ adiciona informações simples sobre o CQI do canal, permitindo escolher rotas para os múltiplos caminhos. Após a definição dos múltiplos caminhos, é realizado o procedimento de alocação de recursos, apresentado no **Algoritmo 2**, em que cada solicitação de rota ($RROUTE$) de um UE, é definido duas rotas, com blocos de recursos distintos, sendo uma rota para a comunicação D2D e a outra rota servindo de auxiliar em caso de falha. Para o encerramento da rota, foi definido um tempo de vida da rota igual a 60s.

Algoritmo 2 Função Alocação de Recursos

```

1: função  $\text{alocaRecursos}()$ 
2: DADOS:  $\text{ch}(s)$  e  $\text{ch}(d)$ 
3:  $x := 1$ ,  $RB = 25$ 
4: enquanto  $\text{ch}(s)$ ,  $\text{ch}(d)$  contém vértices não alocados e  $x \leq 2$  faça  ▷ Vértice = dispositivo móvel, sendo filhos de s e d
5:   se Nenhum vértice adjacente a v utiliza o bloco de recurso i então
6:     Atribui o bloco de recurso i ao vértice v
7:     Retira i de RB  ▷ em que RB é o conjunto de blocos de recursos
8:   fim se
9:    $x = x + 1$ 
10: fim enquanto

```

Dado o funcionamento do algoritmo, podemos rotular o algoritmo como pró-ativo

ao selecionar mais de uma rota para a comunicação D2D e reativo ao selecionar as rotas somente após uma requisição de rota (*RROUTE*).

4. *Baseline*

Compara-se nosso algoritmo com o algoritmo *Load Balancing Based Selective Ad hoc On-Demand Multipath Distance Vector* (LBS-AOMDV) que é um aprimoramento do algoritmo *Ad hoc On-Demand Multipath Distance Vector* (AOMDV). Ele é aplicado para definir múltiplos caminhos para compor as comunicações D2D para Segurança Pública sobre Redes Heterogêneas. Uma particularidade de LBS-AOMDV é oferecer informações sobre a largura de banda disponível de cada rota dentro dos múltiplos caminhos. Além disso, reduz o tráfego de controle, diminuindo o número de nós que recebem as solicitações *RREQ*. Isto é viável uma vez que os remetentes das solicitações *RREQ* selecionam os dispositivos que podem receber os pacotes.

O algoritmo LBS-AOMD encaminha *RREQ* da origem para localizar o destino. Mas, ao contrário do algoritmo AOMDV, o dispositivo remetente não inunda os pacotes através de toda a rede. Em vez disso, para cada transmissão, ele escolhe o melhor entre seus filhos para ser o receptor *RREQ*.

5. Experimentos e Resultados

Para realizar uma abordagem científica no planejamento experimental, foram definidos os parâmetros da simulação e a forma da coleta dos dados, para posteriormente realizar a análise dos dados, refutando ou corroborando o algoritmo proposto. A seguir uma descrição para cada fase realizada do planejamento experimental.

No Planejamento Pré-Experimental, são definidos os fatores de interesse do algoritmo NAR, os níveis dos fatores e as variáveis de respostas, descritas como: **a) Reconhecimento e definição do problema:** Garantir a confiabilidade na entrega dos pacotes, minimizando a perda de pacotes sem inviabilizar o tempo da rede; **b) Escolha de fatores de interesse, níveis e intervalos:** Na tabela 1 foram definidos os parâmetros utilizados nas simulações; **c) Seleção da variável de resposta:** mensagens de dados enviadas, mensagem de dados recebidas, nível do indicador de qualidade do canal (CQI) e energia consumida. Todas as variáveis foram analisadas para cada algoritmo avaliado, exceto para o algoritmo LBS-AOMDV em que o CQI não está disponível.

Parâmetros	Valor
<i>Frequência da Portadora</i>	2 GHz
<i>Largura de Banda</i>	5 MHz (25 RBs)
<i>Modelo de Perda</i>	<i>ITU Urban Macro</i>
<i>Modelo de Desvanecimento</i>	Jakes
<i>Potência dispositivo móvel Tx</i>	26dB
<i>Ruído</i>	5dB
<i>Perda no Cabo</i>	2dB
<i>Tempo de Simulação</i>	3600s

Tabela 1. Parâmetros da Simulação no SimuLTE ([Virdis et al. 2014]).

O Planejamento de Experimentos, foi baseado nas definições do planejamento Pré-Experimental, sendo definidos os experimentos e variáveis de respostas: **a) Fatores de interesse:** mensagens de dados enviadas, mensagens de dados recebidas, nível do CQI e energia consumida; **b) Hipótese Nula (H0):** $H_0: T_1 = T_2 = 0$; **c) H1 (unilateral /**

bilateral): $H1 : T_i \neq 0 \rightarrow$ (Hipótese Alternativa) \rightarrow para no mínimo um i ; d) **Nível de significância:** $\alpha = 0.05$. Nesse contexto, $T1$ e $T2$ representam os algoritmos NAR e LBS-AOMDV e α a confiabilidade dos dados. A análise dos dados foram realizadas através de uma ferramenta de desenvolvimento estatístico denominada R⁹.

Para a coleta dos dados, foram realizadas simulações no simulador SimuLTE e executadas de acordo com os parâmetros descritos na tabela 1. A aleatorização dos cenários foi utilizada para evitar problemas computacionais. Cada experimento foi realizado 33 vezes, com duração de 3600 segundos para cada simulação.

Na fase de Análise dos Experimentos, o propósito foi validar e comparar o algoritmo com seu *baseline*. Para a validação do algoritmo, foram verificados se os procedimentos definidos para o algoritmo estavam funcionando corretamente. Para essa validação, foram definidos três cenários distintos: com uma estação base e cinco dispositivos móveis, duas estações base e cinco dispositivos móveis e três estações base e cinco dispositivos móveis. A figura 1 representa o cenário com 3 estações base, em que foram avaliados o comportamento do algoritmo com relação a definição da rota, ao envio de dados entre os dispositivos móveis e o encerramento da comunicação. Nesses experimentos os dispositivos móveis se comportam de forma estacionária.

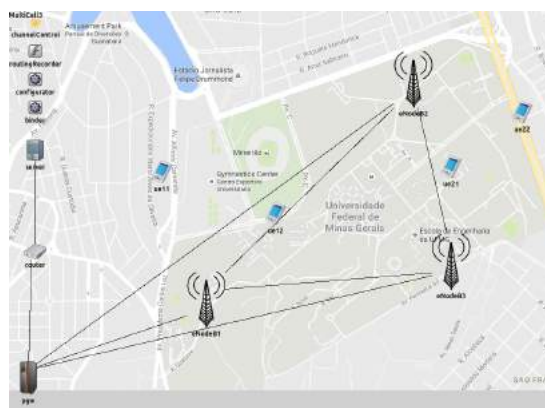


Figura 1. Cenários para validação do funcionamento do algoritmo NAR.

Para a comparação do algoritmo NAR com o seu *baseline*, o objetivo foi analisar o funcionamento do algoritmo em relação as métricas de desempenho. Foram realizados 33 experimentos com o algoritmo NAR e 33 experimentos com o algoritmo LBS-AOMDV em um cenário com uma estação base e 100 dispositivos móveis dispostos de forma estacionária e aleatória dentro da área de cobertura celular (800m x 800m), em que os dispositivos móveis realizam comunicações celulares de forma aleatória e simultânea com a comunicação D2D, sendo que o dispositivo móvel alocado para formar uma rota de comunicação D2D não pode realizar comunicação celular simultaneamente.

Para esse experimento, a figura 2(a) apresenta a média de mensagens de dados enviadas durante as simulações referente ao algoritmo NAR e o algoritmo LBS-AOMDV, demonstrando que o algoritmo NAR envia aproximadamente 11% a mais de mensagens

⁹R é uma linguagem e também um ambiente de desenvolvimento integrado para cálculos estatísticos e gráficos <https://www.r-project.org/>

para o cenário determinado. A figura 2(b) apresenta a média das % de mensagens que são entregues e a média da % de mensagens de dados perdidas durante as simulações, demonstrando a eficiência do algoritmo NAR na entrega de mensagens em comparação com o algoritmo LBS-AOMDV, sendo que o NAR tem uma taxa de perda de mensagens de aproximadamente 4,73% e o LBS-AOMDV uma taxa de perda aproximada de 15,4%.



(a) Mensagens enviadas do algoritmo NAR e LBS-AOMDV.



(b) Algoritmo NAR X LBS-AOMDV com relação a % de entrega e perda de mensagens de dados.

Figura 2. Mensagens enviadas do algoritmo NAR X LBS-AOMDV.

Na figura 3, é representado o CQI, que determina a qualidade do canal das comunicações para o algoritmo NAR em relação a distância (metros) entre os dispositivos móveis, em que a camada *Radio Resource Control* (RRC) da estação base, baseada nas informações enviadas pelo dispositivo móvel, determina algumas decisões com base em medições do nível de sinal das células. Além dessa função, essa camada envia mensagens de *broadcast* contendo informações do sistema e controla as medições dos parâmetros dos dispositivos móveis como a periodicidade do CQI. Quanto maior for o valor do CQI, melhor é a qualidade do canal.

Analisando a figura 3, dado uma distância em que $R < 50m$, podemos obter uma boa qualidade do canal, preservando a qualidade de transferência no canal de comunicação D2D. Os valores de CQI x Distância referente a figura 3, foram obtidos nas simulações de validação do algoritmo NAR, conforme figura 1.

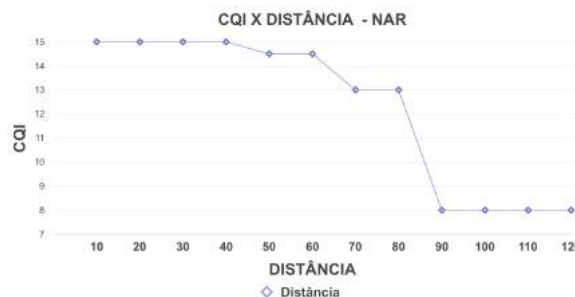


Figura 3. Indicador de qualidade do canal para o algoritmo NAR.

Para a avaliação do consumo energético nos dispositivos móveis, foram definidos alguns parâmetros para avaliar o consumo de energia na comunicação D2D, como por exemplo, a potência consumida para transmissão de pacotes de dados e roteamento. A potência consumida para recepção de pacotes e pacotes de controle não foram contabilizados nas simulações. A tabela 2, apresenta algumas informações sobre o total de pacotes enviados e a energia consumida pelos dispositivos móveis nas simulações.

Descrição	NAR	LBS
Energia Inicial (J)	10000	10000
Pacotes Dados	8036	6956
Pacotes Roteamento	1603	2207
Total Pacotes	9636	9163
Potência consumida para transmissão (mW)	660	660
Tempo de Simulação	3600 s	3600 s
Energia Total Consumida	2455	3324

Tabela 2. Pacotes e Energia Consumida.

A figura 4 e a tabela 2, demonstra que o algoritmo NAR perde aproximadamente 11% a menos mensagens de dados em relação ao LBS-AOMDV e tem um consumo de energia aproximado de 35% menor em relação ao algoritmo LBS-AOMDV, mesmo com o algoritmo NAR enviando mais mensagens de dados.

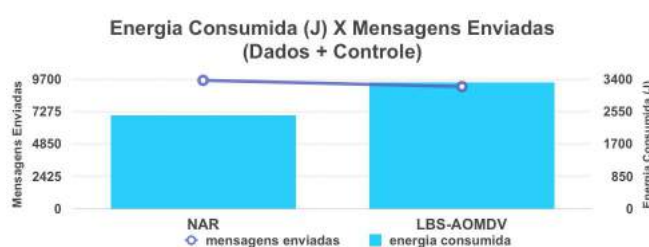


Figura 4. Mensagens Enviadas x Energia Consumida.

Através dos experimentos realizados na comparação do algoritmo NAR em relação ao algoritmo LBS-AOMDV, foi possível verificar que a abordagem proposta para o roteamento, tendo como premissa uma participação efetiva da estação base na determinação da rota, a escolha da rota baseado no CQI do canal e a alocação de blocos de recursos para cada rota, permite definir uma rota com menor interferência e melhor entrega das mensagens, contribuindo para uma diminuição no consumo energético dos dispositivos móveis, **refutando** a Hipótese Nula com um nível de significância de 95%.

6. Conclusão

Nesse trabalho foi proposto o algoritmo de roteamento definido como **Roteamento Assisted pela Rede (NAR)** que se enquadra na categoria de *Inband D2D - Underlay*, tendo como uma das premissas o gerenciamento da rota definido pela estação base, em que as métricas de menor caminho, qualidade do canal e a alocação de blocos de recursos são utilizados com o propósito de diminuir a interferência entre as comunicações e melhorar a utilização do espectro celular. Os experimentos foram realizados no SimuLTE e o algoritmo NAR comparado com o algoritmo LBS-AOMDV. Os resultados demonstram que o algoritmo NAR perde aproximadamente 11% a menos mensagens de dados em relação ao LBS-AOMDV e tem um consumo de energia aproximado de 35% menor em relação ao algoritmo LBS-AOMDV, mesmo com o algoritmo NAR enviando mais mensagens de dados, atendendo aos requisitos para aplicações de Segurança Pública. Como trabalhos futuros, será analisado a quantidade de rotas ideal para cada solicitação, de forma a garantir melhor resiliência, realizar experimentos com os dispositivos em movimento e analisar o comportamento do algoritmo em redes reais.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com o apoio financeiro da CAPES - Brasil.

Referências

- Agiwal, M., Roy, A., and Saxena, N. (2016). Next generation 5G wireless networks: A comprehensive survey. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 18(3):1617–1655.
- Asadi, A., Wang, Q., and Mancuso, V. (2014). A survey on device-to-device communication in cellular networks. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 16(4):1801–1819.
- Baldini, G., Karanasios, S., Allen, D., and Vergari, F. (2014). Survey of Wireless Communication Technologies for Public Safety. *Communications Surveys Tutorials, IEEE*, 16(2):619–641.
- Dow, C. R., Lin, P. J., Chen, S. C., Lin, J. H., and Hwang, S. F. (2005). A Study of Recent Research Trends and Experimental Guidelines in Mobile Ad Hoc Networks. *19th International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA'05) Volume 1 (AINA papers)*, 1:72–77.
- Kamruzzaman, S. M., Kim, E., and Jeong, D. G. (2011). Spectrum and Energy Aware Routing Protocol for Cognitive Radio Ad Hoc Networks. *Communications Society*, pages 344–349.
- Lin, X., Andrews, J. G., Ghosh, A., and Ratasuk, R. (2014). An overview of 3GPP device-to-device proximity services. *IEEE Communications Magazine*, 52(4):40–48.
- Luz, K. S. and Garcia, H. (2015). Caracterização da Micromobilidade em Redes Sem Fio Infraestruturadas pela Variação da Relação Sinal-Ruído. *7o SBCUP - Simpósio Brasileiro de Computação Ubíqua e Pervasiva - SBCUP/CSBC*, pages 131–140.
- Melki, L., Najeh, S., and Besbes, H. (2016). Interference Management Scheme for Network-Assisted Multi-Hop D2D Communications. *IEEE 27th Annual International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC)*, pages 1–5.
- Ren, P., Du, Q., and Sun, L. (2013). Interference-aware routing for hop-count minimization in wireless D2D networks. *2013 IEEE/CIC International Conference on Communications in China - Workshops, CIC/ICCC 2013*, pages 65–70.
- Spieß, J., Joens, Y. T., Dragnea, R., and Spencer, P. (2014). Using Big Data to Improve Customer Experience and Business Performance. *Bell Labs Technical Journal*, 18(4):3–17.
- Tata, C. and Kadoch, M. (2014). Multipath routing algorithm for device-to-device communications for public safety over LTE Heterogeneous Networks. *2014 1st International Conference on Information and Communication Technologies for Disaster Management, ICT-DM 2014*.
- Virdis, A., Stea, G., and Nardini, G. (2014). SimuLTE – A Modular System-level Simulator for LTE / LTE-A Networks based on OMNeT ++. *Proceedings of SimulTech*, pages 28—30.
- Yuan, H., Guo, W., and Wang, S. (2014). Emergency route selection for D2D cellular communications during an urban terrorist attack. *2014 IEEE International Conference on Communications Workshops, ICC 2014*, pages 237–242.

Abordagem semântica para o desenvolvimento de sistemas de suporte a ambientes inteligentes inclusivos

Felipe Morine Magami¹, José J. Pérez-Álcazar¹, Fábio Nakano¹,
Andre L. M. Silva², João S. de Oliveira Neto³, Sergio T. Kofuji⁴

¹Escola de Artes, Ciências e Humanidades – Universidade de São Paulo (USP)
São Paulo – SP – Brazil

²Departamento de Sistemas de Informação – Universidade Federal de Sergipe (UFS)
Itabaiana – SE – Brazil

³Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB)
Cruz das Almas – BA – Brazil

⁴Lab. de Sistemas Integráveis – Escola Politécnica – Universidade de São Paulo (USP)
São Paulo – SP – Brazil

{felipe.magami, jperez, fabionakano, andrelumesi, j.neto, kofuji}@usp.br

Abstract. *There are hundreds of millions of visually impaired people around the world, individuals that in a daily basis face difficulties related to their mobility. The progress of mobile technologies brings more opportunities to create applications to aid the visually impaired. This paper proposes an approach based on semantics that organizes, relates and assign meaning to information of the urban space, in order to provide content tailored to people with disabilities. In order to validate this proposal, we have created an indoor navigation system for shopping mall to support the visually impaired.*

Resumo. *Há centenas de milhões de deficientes visuais no mundo, indivíduos que enfrentam diariamente dificuldades relacionadas à sua mobilidade. O avanço das tecnologias móveis traz mais oportunidades para a construção de aplicativos para apoio ao deficiente visual. Esse trabalho propõe uma abordagem baseada em semântica que organiza, relaciona e atribui significado a informações do espaço urbano, com intuito de prover conteúdo adaptado às pessoas com deficiência. Para validação dessa proposta ¹, criamos um sistema de navegação em shopping center para apoio a usuários com deficiência visual.*

1. Introdução

Cerca de 15% da população mundial possui algum tipo de deficiência sensorial, motora ou cognitiva [World Bank 2016]. Ao longo do século XX, a luta destes indivíduos e de associações possibilitou a ampla discussão das condições de vida a que eram submetidos e, como consequência, uma série de direitos foram adquiridos e políticas públicas voltadas para as pessoas com deficiência (PcD) foram definidas.

¹Agradecimentos especiais a HUAWEI pelo apoio dado a este projeto de pesquisa no âmbito do convênio HUAWEI-USP.

O mercado e os grupos de pesquisas deveriam se sensibilizar mais com as questões relacionadas à acessibilidade dado que todos nós experimentaremos algum tipo de deficiência ao longo da vida, ou até mesmo várias deficiências coexistentes ao envelhecermos [World Health Organization et al. 2011]. As PcD continuam a ser discriminadas e seu acesso ao ambiente profissional e aos serviços de saúde, educação e lazer ainda é limitado. Para aumentar a presença de PcD na sociedade em geral e diminuir o isolamento dessas pessoas, surgiram as tecnologias assistivas [Federici and Scherer 2012]: produtos e serviços que ajudam a mitigar a limitação da PcD e/ou as barreiras impostas pelo ambiente: bengalas, cadeiras de roda motorizadas, aparelhos auditivos, pisos táteis ao longo de calçadas, teclados de computadores adaptados, leitores de tela de computador, entre outros.

Apesar dos avanços trazidos pelo conjunto de tecnologias assistivas disponíveis, alguns cenários ainda são fonte de apreensão e incerteza para as PcD, como o espaço urbano. É na cidade que acontece a maior parte das interações humanas da sociedade contemporânea: relações econômicas, sociais, políticas, humanas, etc. Mesmo que as PcD tenham conseguido o direito e os meios para frequentar a universidade ou exercer uma atividade profissional, o deslocamento de seus domicílios até a sala de aula ou até a empresa é uma verdadeira *via crucis* [de Oliveira Neto and Kofuji 2016]: calçadas tomadas por entulho dificultando a locomoção, alertas sonoros que não são percebidos por surdos, textos em placas de direção e rotas que não são acessíveis a cegos, entre outros exemplos. Infelizmente, as cidades são projetadas e construídas para os cidadãos não-portadores de deficiência em detrimento de uma parcela significativa da população.

Por outro lado, graças aos avanços da Computação Pervasiva, a cidade passou a ser vista como um grande sistema de sistemas [Nam and Pardo 2011], onde a tecnologia tem ajudado instituições governamentais e privadas a oferecerem melhores serviços aos cidadãos. Surgiram assim as Cidades Inteligentes: iniciativas que buscam de uma maneira inovadora otimizar o acesso aos serviços de transporte, saúde, educação, segurança e comunicação visando proporcionar uma melhor qualidade de vida aos moradores [Alawadhi et al. 2006].

Este trabalho tem como objetivo oferecer à comunidade de desenvolvedores de soluções para Cidades Inteligentes uma abordagem apoiada em semântica que organiza as informações que estão disponíveis no espaço urbano, a fim de criar relações entre estas informações, dotar de sentido essa informação e prover as PcD de um conteúdo adaptado às suas habilidades. Esta abordagem provê às PcD uma forma diferente de navegar pela cidade e de interagir com equipamentos urbanos – placas, prédios, semáforos, paradas de ônibus etc. Para validar essa proposta, foi construída uma aplicação que apoia PcD a se locomoverem e chegarem a uma determinada localização dentro de um *shopping center*.

O restante deste artigo é organizado da seguinte forma: na Seção 2 explicaremos sobre os fundamentos e tecnologias que nos nortearam para a conclusão do trabalho. A Seção 3 coloca em evidência obras com temas similares e soluções para problemas relacionados ao nosso. A solução desenvolvida, bem como sua avaliação, se encontram nas Seções 4 e 5, respectivamente. E finalmente, nossas considerações finais, na Seção 6.

2. Fundamentação teórica

A web semântica estende a web tradicional de forma que a informação disponível seja acompanhada por significado. A semântica incluída permite que a informação possa ser processada e interpretada computacionalmente. Dessa forma, máquinas desempenham um papel mais ativo no consumo de dados e não apenas na transmissão de informação para consumo humano [Fensel et al. 2011]. Em nossa proposta, o suporte semântico foi dado pelo emprego de WSML.

WSML (Web Service Modeling Language) [Fensel et al. 2011] é uma linguagem formal para descrever serviços web semânticos baseada em formalismos lógicos, tais como lógica de descrições, lógica de primeira ordem e lógica de programação. No âmbito deste trabalho, fizemos uso dos seguintes elementos WSML: ontologias, serviços semânticos e metas.

A Figura 1 apresenta um exemplo de ontologia definida em WSML. As linhas 1 e 2 definem, respectivamente, a variante WSML adotada e o *namespace* da ontologia. Em seguida, na linha 3, é definida a ontologia *SeresVivos*. As linhas 6 a 10 são utilizadas para a definição de classes. Em WSML, uma classe é definida através da palavra reservada *concept*. A classe *Humano* é composta pelos atributos *nome* do tipo *_string* e *idade* do tipo *_integer* (linhas 7 e 8). Na linha 10, é apresentada a definição da classe *Crianca*, que é um subclasse de *Humano*. Por ser uma subclasse, *Crianca* herda todos os atributos de *Humano*. Instâncias de classe são definidas através da palavra reservada *instance*. Exemplos de definição de instância são apresentadas nas linha 17 a 23. Nelas, são definidas a instância *Paulo* e *George*, ambas do tipo *Humano*.

Figura 1. Exemplo de ontologia em WSML

```

1 wsmlVariant _"http://www.wsmo.org/wsml/wsml-syntax/wsml-rule"
2 namespace { _"http://br.usp.poli.pad/exemplosontologias#" }
3
4 ontology SeresVivos
5
6 concept Humano
7   nome ofType _string
8   idade ofType _integer
9
10 concept Crianca subConceptOf Humano
11
12 axiom EhCrianca
13   definedBy
14     ?x[idade hasValue ?idade] and ?idade < 12
15     implies ?x memberOf Crianca.
16
17 instance Paulo memberOf Humano
18   nome hasValue "Paulo Silva"
19   idade hasValue 34
20
21 instance George memberOf Humano
22   nome hasValue "George Carlos"
23   idade hasValue 8

```

O suporte à inferência é feita por meio de axiomas (linhas 12 a 15). O *axiom EhCrianca* define que caso uma instância *?x* apresente o atributo *idade* com valor menor que 12, logo *?x* é do tipo *Crianca*. Por conta desse axioma, podemos inferir que a instância *George* é do tipo *Crianca*, pois apresenta o atributo *idade* com valor 8.

A web semântica também traz o conceito de serviços semânticos. Diferente dos serviços habituais, serviços semânticos apresentam anotações semânticas que informam,

de maneira bastante precisa, sua funcionalidade. Adicionalmente, manipulam ontologias de forma a dar maior precisão ao processo de busca, recuperação, representação, extração, interpretação e manutenção da informação [Breitman et al. 2007].

Em WSMML, um serviço semântico é definido através da palavra reservada *webService*. A funcionalidade do serviço é apresentada através de suas precondições, suposições, pós condições e efeitos. Para elucidar melhor esses conceitos, apresentamos a Figura 2 que define o serviço semântico *RegistroDeNascimento*.

De maneira análoga à ontologia, o cabeçalho de um serviço deve acompanhar a variante WSMML e o seu *namespace* (linhas 1 e 2). É possível atribuir um rótulo a um *namespace*. Isso é feito na linha 3, onde é atribuído o rótulo *eo* para o *namespace* da ontologia *SeresVivos*. Na linha 4 é definido o *webService RegistroDeNascimento*. Em seguida, na linha 5, é realizada a importação da ontologia *SeresVivos*. Dessa forma, as classes e instâncias definidas na Ontologia *SeresVivos* tornam-se acessíveis ao *webService RegistroDeNascimento*. A descrição da funcionalidade do serviço é feita por meio da *capability rdnCapability* (linha 7). Nesse campo, são apresentadas as precondições, suposições, pós condições e efeitos do serviço, definidas através das palavras reservadas *precondition*, *assumption*, *postcondition* e *effect*, respectivamente.

Precondition e *assumption* descrevem o estado antes da execução do *webService*. *Precondition* descreve condições sobre a entrada do serviço. No serviço *RegistroDeNascimento*, a *precondition* define que a instância *?crianca* deve apresentar o atributo *localNascimento* com valor igual a *Brasil* ou a instância *?crianca* deve apresentar no atributo *pai* uma instância *?pai* cujo atributo *cidadania* possui valor igual a *Brasil* (linhas 9 a 11). Já *assumption* descreve condições sobre o estado do mundo não relacionadas aos dados de entrada. A *assumption* do serviço *RegistroDeNascimento* atribui temporalidade, sinalizando que o serviço deve observar a hora atual (*?hora*) e somente funcionar caso *?hora* represente horário comercial (linhas 13 a 15). *PostCondition* descreve a relação entre a

Figura 2. Exemplo de Serviço Semântico em WSMML

```

1 wsmmlVariant _ "http://www.wsmo.org/wsmml/wsmml-syntax/wsmml-rule"
2 namespace { _ "http://br.usp.poli.pad/exemplos#", _ "http://br.usp.poli.pad/exemplosontologias#"
3   eo _ "http://br.usp.poli.pad/exemplosontologias#"
4
5 webService RegistroDeNascimento
6   importsOntology {eo#SeresVivos}
7   capability rdnCapability
8     sharedVariables ?crianca
9     precondition
10    definedBy
11    ?crianca memberOf Crianca and ?crianca[localNascimento hasValue Brasil]
12    or (?crianca[pai hasValue ?pai] and ?pai[cidadania hasValue Brasil] ).
13    assumption
14    definedBy
15    ?hora memberOf Tempo and ehHorarioComercial(?hora).
16    postcondition
17    definedBy
18    ?crianca memberOf Crianca and ?crianca[cidadania hasValue Brasil].
19    effect
20    definedBy
21    ?conta memberOf Conta and ?conta[debitos hasValue 100 ].

```

entrada e a saída. Na Figura 2, vemos que a instância *?crianca* passará a ter o atributo *cidadania* com valor igual a *Brasil* (linhas 16 a 18) caso a *precondition* e *assumption* sejam atendidas. Por último, *effect* descreve mudanças causadas pelo serviço não relacionada

aos dados de entrada e saída. Em nosso exemplo, é gerado uma instância de *Conta* cujo atributo *debitos* apresenta valor igual a 100 (linhas 19 a 21).

WSML também dá suporte à modelagem de metas através da palavra reservada *goal*. *Goal* representa os objetivos dos usuários com relação ao serviço web utilizado. A *goal* é composta pelos mesmos elementos que descrevem um *webService*, mudando apenas pelo emprego da palavra reservada *goal* no lugar da palavra reservada *webService*. A diferença entre esses elementos consiste do ponto de vista da descrição. Enquanto um *webService* adota o ponto de vista do serviço, *goal* segue o ponto de vista do solicitante do serviço.

3. Trabalhos relacionados

As ferramentas de navegação, definição de rotas ou *wayfinding* são de extrema importância para as PcD pois tais ferramentas podem aumentar o grau de independência e de autonomia destas pessoas. Como todo cidadão, é navegando pelo espaço urbano que as PcD percebem e se apropriam do espaço que é compartilhado com os seu concidadãos e se sentem parte integrante da comunidade que está ao seu redor. As obras da literatura científica relacionadas a *wayfinding* podem ser agrupadas segundo alguns critérios, tais como:

- roteamento *indoor* (Chang et al., 2010) ou *outdoor* [Sheehan et al. 2006];
- deficiência/limitação em questão: visual [Gaunet and Briffault 2005], cognitiva [Chang et al. 2008], auditiva [de Paolis and Guerini 2015], velhice [Falco et al. 2010], motora [Duvall et al. 2016], etc.;
- tecnologia utilizada, tais como: RFID [Willis and Helal 2006], *wearables* [Ross and Blasch 2000], robôs [Kulyukin et al. 2006], entre outras.

Poucos são os trabalhos que propõem o uso de semântica em soluções de *wayfinding*. Nossa proposta é uma solução baseada em semântica voltada para navegação e roteamento *indoor* e *outdoor* em espaços públicos para PcD com limitações sensoriais e motoras, podendo seu uso ser extrapolado também para outros indivíduos que por alguma razão temporária ou permanente não conseguem interpretar os símbolos e textos presentes na paisagem urbana — como, por exemplo, idosos, indivíduos não-letrados, e turistas que não falam/leem/entendem o idioma local. As tecnologias empregadas são aquelas utilizadas comumente em projetos de Cidades Inteligentes: sensores, Internet das Coisas, Computação em Nuvem, e dispositivos móveis.

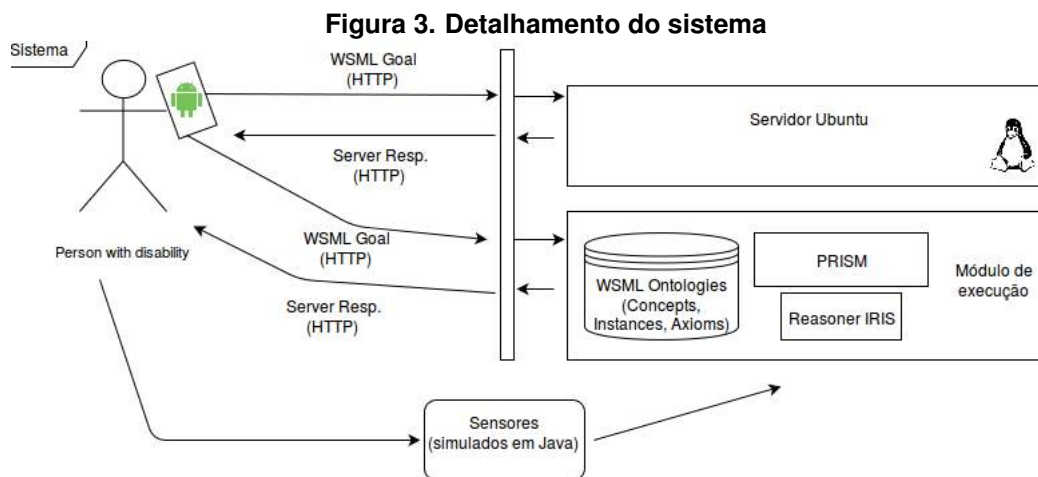
4. Solução desenvolvida

Para validar o modelo proposto e confirmar a sua viabilidade desenvolvemos um protótipo tendo como cenário um sistema de auxílio a pessoas com deficiência visual na navegação em um shopping center aplicando a nossa abordagem semântica. O protótipo descreve os vários serviços oferecidos por um shopping, bem como os estabelecimentos encontrados no centro comercial. A Figura 3 detalha a solução desenvolvida². A interação com o usuário é feita por meio de um aplicativo Android que se comunica com um servidor RESTful, utilizando requisições HTTP que encapsulam pacotes JSON (ilustrados pelas setas). Para utilizar um serviço, a aplicação envia um *goal* WSML para o servidor Ubuntu

²Documentos em WSML, bem como diagramas detalhando o sistema, estão disponíveis em: https://github.com/minato21/shopping_ontology

que descobre um serviço que atende às necessidades impostas na meta (*goal*). Como resposta, o servidor envia à aplicação Android a URL do serviço. Em seguida, a aplicação faz uma chamada à URL para que o serviço seja executado no módulo de execução. O módulo de execução apresenta um conjunto de ontologias WSMML. O processo de consulta é feito através do IRIS [Bishop and Fischer 2008].

O cálculo de rotas é feito dinamicamente por uma ferramenta de checagem de modelos probabilísticos chamada PRISM [Kwiatkowska et al. 2011]. Ele se baseia na localização do usuário e nas informações presentes nas ontologias de lugares e rotas. A localização do usuário é obtida através de sensores que notificam o servidor sobre a localização atual do usuário assim que o usuário passa por ele. Em nosso protótipo, sensores foram desenvolvidos como serviços web, de forma a dar suporte a diferentes tipos de hardware. Em nossos experimentos, adotamos a modalidade simulada, na qual a ação de detecção e notificação dos servidores é feita puramente em software.

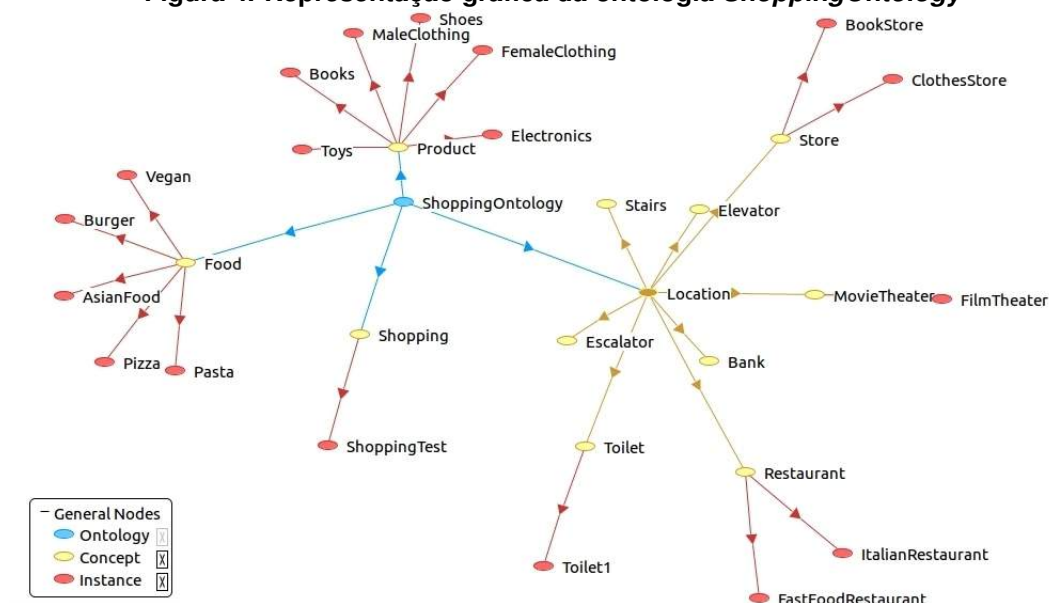


Para o protótipo, definimos que o sistema deve atender às seguintes funcionalidades: buscar localidade, procurando mais informações sobre a localidade desejada; buscar rota, tal que ela seja calculada pelo servidor entre o ponto atual do usuário e uma localidade selecionada; curtir localidade, explicitando sua preferência pela localidade selecionada; e recomendar localidade, em que, caso o usuário esteja próximo a uma localidade curtida, o sistema o avisa.

4.1. Descrição do shopping em ontologias

A Figura 4 mostra uma visão gráfica da ontologia que representa o shopping utilizado em nosso estudo de caso, produzida pela ferramenta Web Semantic Modeling Toolkit. Para nossa ontologia de shopping, definimos que cada localidade tem um sensor correspondente. A cadeia de sensores foi modelada em uma ontologia de grafo, sendo as localidades representadas por nós e o caminho entre as localidades, por arestas.

O shopping apresenta seis instâncias de localidade. São elas: **Toilet1**, um banheiro; **ItalianRestaurant**, um restaurante que oferece pizzas, massas italianas e também comida vegetariana; **FilmTheater**, um cinema; **FastFoodRestaurant**, uma hamburgueria; **ClothesStore**, uma loja de roupas; e **BookStore**, uma livraria.

Figura 4. Representação gráfica da ontologia *ShoppingOntology*

A semântica relativa à funcionalidade dos serviços foi modelada na ontologia *ShoppingOntology*, que define a semântica dos dados presentes nas pré e pós condições dos *webServices* e *goals* WSML. No caso de não existir uma instância que contemple as pré-condições de uma *goal*, gera-se dinamicamente uma instância. Essa instância é útil para que o serviço de busca consiga realizar o casamento entre a *goal* e o *webService*.

4.2. Aplicativo Android

Para que o usuário consiga utilizar os serviços disponíveis no servidor, desenvolvemos um aplicativo Android. Pensando nas limitações das pessoas com deficiência visual, este aplicativo permite que usuário interaja com o sistema a partir de comandos de voz. Uma vez que esse comando, relacionado às funcionalidades descritas anteriormente, seja compreendido, o sistema cria uma *goal* descrita em WSML e a envia para o servidor de descoberta de serviços. Caso o servidor descubra algum serviço que contemple a especificação da *goal*, ele envia a URL do serviço. O aplicativo Android irá, então, reenviar a *goal* para esse endereço. A resposta desse serviço é interpretada e informada ao usuário utilizando um sintetizador de voz.

O aplicativo também é responsável por comunicar ao usuário as informações recebidas do servidor. Tais informações podem ser referentes à localização do usuário, à recomendação de localidades, caso ele se encontre próximo de localidades definidas como curtidas, às informações sobre localidades relevantes a uma busca, ou, no caso de uma rota, podem fornecer instruções que o usuário deve seguir para chegar ao destino desejado. Todas essas informações são notificadas ao usuário utilizando o sintetizador de voz.

4.3. Serviço de descoberta

O algoritmo de busca baseia-se no casamento de funcionalidade entre a meta do usuário (*goal*) e a descrição do serviço semântico (*webService*). Como apresentado na Seção 2, em WSML, *goal* e *webService* são descritas por meio de suas *precondition*, *assumption*,

postcondition e *effect*. Em nossa implementação, usamos a abordagem clássica que adota o conceito de *subsumption* [Paolucci *et al*, 2002]. Nessa abordagem, o casamento entre serviços e metas é realizado através da observação da compatibilidade semântica de suas respectivas definições.

Para o *ranking*, bem como para definição do grau de compatibilidade do serviço, adotamos um sistema de 4 bits, conforme ilustrado na Tabela 1. O bit mais à esquerda refere-se a *precondition* e o mais a direita ao *effect*. O valor 1 é atribuído aos bits cuja descrição da meta e do serviço são equivalentes. Dessa forma, serviços que apresentam compatibilidade total com a meta apresentam maiores valores. O usuário também pode estabelecer um grau de compatibilidade mínimo. Para isso, o usuário deve passar para o serviço de busca um valor no intervalo de [1, 15]. Tal valor sinaliza quais descrições de funcionalidade devem ser obrigatoriamente compatíveis com a meta.

Tabela 1. Mapeamento entre bit e o elemento de descrição do webService

<i>precondition</i>	<i>assumption</i>	<i>postcondition</i>	<i>effect</i>
bit 3	bit 2	bit 1	bit 0

4.4. Módulo de execução

Este módulo disponibiliza serviços que podem ser descobertos. Cada serviço é isolado um dos outros, uma vez que, em um cenário real, é possível que os serviços disponíveis estejam hospedados em servidores diferentes. O módulo atual abrange três funcionalidades básicas — buscar localidade, curtir localidade e buscar rota — e, mais dois outros serviços de apoio: serviço de autenticação e serviço de sensoriamento.

- **Serviço de autenticação:** O serviço de autenticação é necessário para guardar informações sobre o usuário, no sistema atual, o endereço de IP do aparelho móvel e a porta de escuta do aplicativo. Estas informações são utilizadas para notificar o aplicativo sobre sua posição atual.
- **Serviço de sensor:** Este é o único serviço cuja requisição não parte do aplicativo. O sensor envia para o servidor o identificador do sensor (isto é, o identificador do nó pelo qual o usuário acabou de passar), e, utilizando as informações de IP e porta recebidas do aplicativo pelo serviço de Login, o serviço de sensor repassa essa informação do nó onde o usuário está localizado para o aplicativo móvel.
- **Serviço de busca:** O serviço de busca opera da seguinte forma: primeiramente, o serviço carrega as ontologias relativas ao sistema (i.e., o shopping modelado em WSML). Em seguida, ele analisa a goal recebida com uma instância que contém atributos que serão utilizados para encontrar a localidade desejada. Depois, ele verifica se a instância contida na *goal* WML é equivalente à definida na pré-condição do WSML WebService. Se for, com as informações da instância contida na *goal* e utilizando o *reasoner* IRIS, uma busca é feita na ontologia de shopping sobre as localidades relevantes. Finalmente, a resposta dessa busca é tratada e retornada ao aplicativo. As informações contidas no pacote JSON de resposta para cada localidade encontrada são: o nome da localidade; a descrição; o nó; e se o local foi curtido.
- **Serviço de localidades curtidas:** Este serviço é semelhante ao serviço de busca, com algumas particularidades: o serviço não só busca a ontologia que deve ser

curtida ou não utilizando o reasoner IRIS, mas também salva a ontologia atualizada no seu arquivo de origem. Por fim, o serviço responde ao aplicativo as informações atualizadas da localidade alterada.

- **Serviço de rota:** Este serviço recebe, do pacote JSON vindo do aplicativo Android, uma instância com informação sobre dois nós, um inicial e outro final. Similar aos serviços de busca e de localidades curtidas, ele deve validar a ontologia contendo a instância que recebeu, juntamente com a *goal* WSML. Com as duas informações, o serviço utiliza o software PRISM para o cálculo da rota. Para isso, modelamos o layout do nosso shopping em um processo de decisão de Markov, com as localidades representadas por estados e transições representando os caminhos entre as localidades, com os custos relacionados às distâncias desses caminhos. Quando o cálculo é finalizado, o serviço envia para o aplicativo um conjunto de pares de String, cada par contendo a descrição da rota que o usuário deficiente deve seguir, e o próximo nó por onde ele deverá passar caso siga as instruções corretamente, sendo que o último par contém o nó final. O serviço apresenta suporte a definição de novas rotas, caso o usuário não siga a rota estabelecida.

4.5. Sensores de localidade

Os sensores de localidade correspondem a uma classe de serviços que enviam ao módulo de execução a informação do nó, isto é, seu identificador. São ativos no momento em que o deficiente passa por ele.

5. Avaliação realizada

Para avaliação, verificamos o uso do sistema utilizando o aplicativo Android para interagir com o serviço de descoberta e o módulo de execução no servidor Ubuntu. Simulamos o comportamento de um usuário cego, bem como a atuação dos sensores de localidade³.

O servidor de descoberta funcionou como esperado, retornando corretamente os serviços relativos às goals enviadas. O módulo de execução dos serviços também funcionou sem problemas. Para o serviço de rotas, fizemos uma simulação de 100 requisições HTTP para um shopping com seis localidades. A média de tempo de execução entre o envio da requisição e da resposta do servidor foi de 1875 ms em um servidor Apache Tomcat 8.5 executando em um Linux Ubuntu, em uma máquina Intel i7 com 8 GB de memória.

Finalizado o uso, concluímos que, com o protótipo desenvolvido, a produção de um sistema aplicado a uma situação real, seguindo a metodologia adotada neste trabalho, é viável.

6. Considerações finais

Esse trabalho teve como objetivo apresentar uma abordagem semântica para o desenvolvimento de sistemas voltados a pessoas com deficiência visual. Atualmente, a abordagem proposta vem sendo aplicada no desenvolvimento de ambientes inclusivos para a Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo. O sistema em desenvolvimento adota todos os recursos apresentados nessa proposta, com a adição de recursos

³Um vídeo de demonstração do sistema está disponível em: <https://youtu.be/Z5p-3x3fMd8>

mais robustos para interface com o usuário e sensoriamento. Para interface do usuário, o sistema apresenta uma luva, responsável por abrigar o dispositivo móvel, bem como enviar *feedbacks* ao usuário. No âmbito de sensoriamento, optou-se pela adoção de *QR Code* espalhados pelo campus, que são lidos e processados pelo aplicativo. Como trabalhos futuros, pretende-se implantar o suporte multi-idiomas. Adicionalmente, tornar mais robusta as ontologias relativas ao contexto, de forma a prover um serviço mais adaptável ao perfil do usuário.

Referências

- Alawadhi, S. et al. (2006). Building understanding of smart city initiatives. *International Conference on Electronic Government.*, pages 40–53.
- Bishop, B. and Fischer, F. (2008). Iris-integrated rule inference system. In *International Workshop on Advancing Reasoning on the Web: Scalability and Commonsense (ARea 2008)*.
- Breitman, K., Casanova, M. A., and Truszkowski, W. (2007). *Semantic web: concepts, technologies and applications*. Springer Science & Business Media.
- Chang, Y.-J., Tsai, S.-K., and Wang, T.-Y. (2008). A context aware handheld wayfinding system for individuals with cognitive impairments. *Proceedings of the 10th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility.*, pages 27–34.
- de Oliveira Neto, J. S. and Kofuji, S. T. (2016). Inclusive smart city: An exploratory study. *International Conference on Universal Access in Human-Computer Interaction*.
- de Paolis, R. and Guerini, S. (2015). Wayfinding design and accessibility. *GSTF Journal of Engineering Technology*, 3(2).
- Duvall, J. A., Pearlman, J. L., and Karimi, H. A. (2016). Development of route accessibility index to support wayfinding for people with disabilities. *Smart City 360.*, pages 104–112.
- Falco, J. M. et al. (2010). Indoor navigation multi-agent system for the elderly and people with disabilities. *Trends in practical applications of agents and multiagent systems.*, pages 437–442.
- Federici, S. and Scherer, M. (2012). *Assistive Technology Assessment Handbook*. CRC Press.
- Fensel, D., Facca, F. M., Simperl, E., and Toma, I. (2011). *Semantic web services*. Springer Science & Business Media.
- Gaunet, F. and Briffault, X. (2005). Exploring the functional specifications of a localized wayfinding verbal aid for blind pedestrians: Simple and structured urban areas. *Proceedings of the ACM 2011 conference on Computer supported cooperative work.*, 20(3):267–314.
- Kulyukin, V. et al. (2006). Robot-assisted wayfinding for the visually impaired in structured indoor environments. *Autonomous Robots*, 21(1):29–41.
- Kwiatkowska, M., Norman, G., and Parker, D. (2011). Prism 4.0: Verification of probabilistic real-time systems. In *International Conference on Computer Aided Verification*, pages 585–591. Springer.
- Nam, T. and Pardo, T. A. (2011). Conceptualizing smart city with dimensions of technology, people, and institutions. *Proceedings of the 12th annual international digital government research conference: digital government innovation in challenging times.*, pages 282–291.
- Ross, D. A. and Blasch, B. B. (2000). Wearable interfaces for orientation and wayfinding. *Proceedings of the fourth international ACM conference on Assistive technologies.*, pages 193–200.
- Sheehan, B., Burton, E., and Mitchell, L. (2006). Outdoor wayfinding in dementia. *Dementia*, 5(2):271–281.
- Willis, S. and Helal, S. (2006). Rfid information grid for blind navigation and wayfinding. In *Ninth IEEE International Symposium on Wearable Computers (ISWC'05)*, pages 34–37. IEEE.
- World Bank (2016). Disability overview. <http://www.worldbank.org/en/topic/disability/overview>. Acesso em 05 de março de 2017.
- World Health Organization et al. (2011). *World report on disability*. World Health Organization.

Uma Abordagem Dinâmica para Descoberta de Recursos na IoT Explorando Processamento Semântico*

Renato Dilli², Huberto Filho², Maurício de Azevedo¹,
Gerson Cavalheiro², Ana Marilza Pernas², Adenauer Yamin^{1,2}

¹Universidade Católica de Pelotas (UCPel)
Rua Gonçalves Chaves, 373 - Centro - CEP 96015-560 – Pelotas - RS - Brasil

²Universidade Federal de Pelotas (UFPel)
Rua Gomes Carneiro, 1 - Centro - CEP 96010-610 – Pelotas – RS – Brasil

{renato.dilli, hkaiser, gerson.cavalheiro, marilza, adenauer}@inf.ufpel.edu.br, mmadrugadeazevedo@gmail.com

Abstract. *The Internet of Things considers a scenario in which resources dynamically enter and exit the computing environment. The discovery procedure in this scenario, whose quantity of resources is increasing, characterizes an open research challenge. This article presents EXEHDA-RD, a discovery service integrated with the EXEHDA middleware that employs Semantic Web technologies and the REST architectural standard. The main components of the architecture were implemented considering characteristics relevant to IoT, such as: presence control, self-discovery and increase of expressiveness in the queries. The results obtained are promising and point to the continuity of study and research efforts.*

Resumo. *A Internet das Coisas considera um cenário no qual recursos dinamicamente entram e saem do ambiente computacional. O procedimento de descoberta neste cenário, cuja quantidade de recursos é crescente, caracteriza um desafio de pesquisa em aberto. Este artigo apresenta o EXEHDA-RD, um serviço de descoberta de recursos integrado ao middleware EXEHDA que emprega tecnologias de Web Semântica e o padrão arquitetural REST. Os principais componentes da arquitetura foram implementados considerando características relevantes para IoT, tais como: controle de presença, auto-descoberta e aumento de expressividade nas consultas. Os resultados obtidos se mostram promissores e apontam para continuidade dos esforços de estudo e pesquisa.*

1. Introdução

A IoT (*Internet of Things*) vem ganhando destaque como o novo paradigma de evolução da Internet [Perera et al. 2014]. Esta evolução deve-se ao fato que a IoT preconiza a ideia do tudo conectado, ou seja, qualquer “coisa” pode possuir sensores capazes de coletar informações as quais podem ser compartilhadas através da Internet.

A Internet das Coisas trouxe vários desafios a serem superados, entre eles, questões de identificação dos inúmeros dispositivos levando a uma necessidade de transição para IPv6 e a descoberta dos dispositivos e seus recursos [Gubbi et al. 2013].

*O presente trabalho foi realizado com apoio do Programa Nacional de Cooperação Acadêmica da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES/Brasil.

A Descoberta de Recursos é um aspecto importante na IoT devido ao elevado número de dispositivos distribuídos dinamicamente e com características heterogêneas, o que constitui um desafio na disponibilização de seus recursos. O sistema computacional precisa ter conhecimento dos recursos disponíveis e quais atendem as necessidades de uma determinada aplicação, para que possam ser alocados com a mínima interferência do usuário [Marin-Perianu et al. 2005]. Resumidamente, pode-se dizer que o processo de descoberta consiste na localização de recursos e serviços existentes que são relevantes para uma determinada requisição baseado na descrição de sua semântica [Klusck 2014].

Neste sentido, os principais desafios da Descoberta de Recursos, na perspectiva da Internet das Coisas, são os seguintes [Al-Fuqaha et al. 2015][Miorandi et al. 2012]: (i) Heterogeneidade de dispositivos; (ii) Escalabilidade; (iii) Auto-organização e (iv) Interoperabilidade semântica.

Com a premissa de atender estes desafios, o objetivo geral deste trabalho é a concepção de um mecanismo para descoberta de recursos, visando contribuir com os esforços de pesquisa do LUPS (*Laboratory of Ubiquitous and Parallel Systems*) da Universidade Federal de Pelotas em Internet das Coisas. Deste modo, este trabalho irá remodelar a arquitetura de software existente no serviço de descoberta do *middleware* EXEHDA para dar suporte à IoT.

O artigo está organizado da seguinte forma: na Seção 2 é apresentada a arquitetura e as funcionalidades do serviço de descoberta de recursos EXEHDA-RD, na Seção 3 a validação do EXEHDA-RD através de Cenário de Uso, na Seção 4 são discutidos os Trabalhos Relacionados e na Seção 5 estão as Considerações Finais.

2. EXEHDA-RD: Arquitetura e Funcionalidades

O EXEHDA [Davet 2015] [Lopes et al. 2014] é o *middleware*, foco deste trabalho, responsável por prover a infraestrutura computacional básica para a IoT. Este ambiente computacional é constituído por células de execução, nas quais os dispositivos computacionais são distribuídos. Cada célula é constituída dos seguintes componentes: (i) EXEHDABase, o elemento central da célula, sendo responsável por todos serviços básicos e constituindo referência para os demais elementos; (ii) o EXEHDANodo que corresponde aos dispositivos computacionais responsáveis pela execução das aplicações; (iii) o EXEHDANodo móvel, um subcaso do anterior, que corresponde aos dispositivos tipicamente móveis que podem se deslocar entre as células do ambiente ubíquo, (iv) o EXEHDABorda, responsável por fazer a interoperação entre os serviços do *middleware* e os diversos tipos de *gateways*; e (v) o EXEHDAGateway, que consiste no elemento responsável por setorizar pontos de coleta e/ou atuação distribuídos, disponíveis no meio físico, realizando a interação destes com os outros componentes do *middleware*.

O EXEHDA-RD (*Resource Discovery*) é um novo serviço para descoberta de recursos proposto para o *middleware* EXEHDA. Sua arquitetura de software foi modelada considerando a dinamicidade em que os recursos entram e saem do ambiente, portanto, controla a presença de dispositivos, inclusive com baixo poder computacional, conectados à *gateways*. O aumento da expressividade na descrição e consulta por recursos foi provida através de tecnologias de Web Semântica com intuito de potencializar a descoberta de recursos no ambiente. A arquitetura de software do EXEHDA-RD possui três componentes distintos: (CD) Componente Diretório, (CR) Componente Recurso e (CC)

Componente cliente (vide Figura 1).

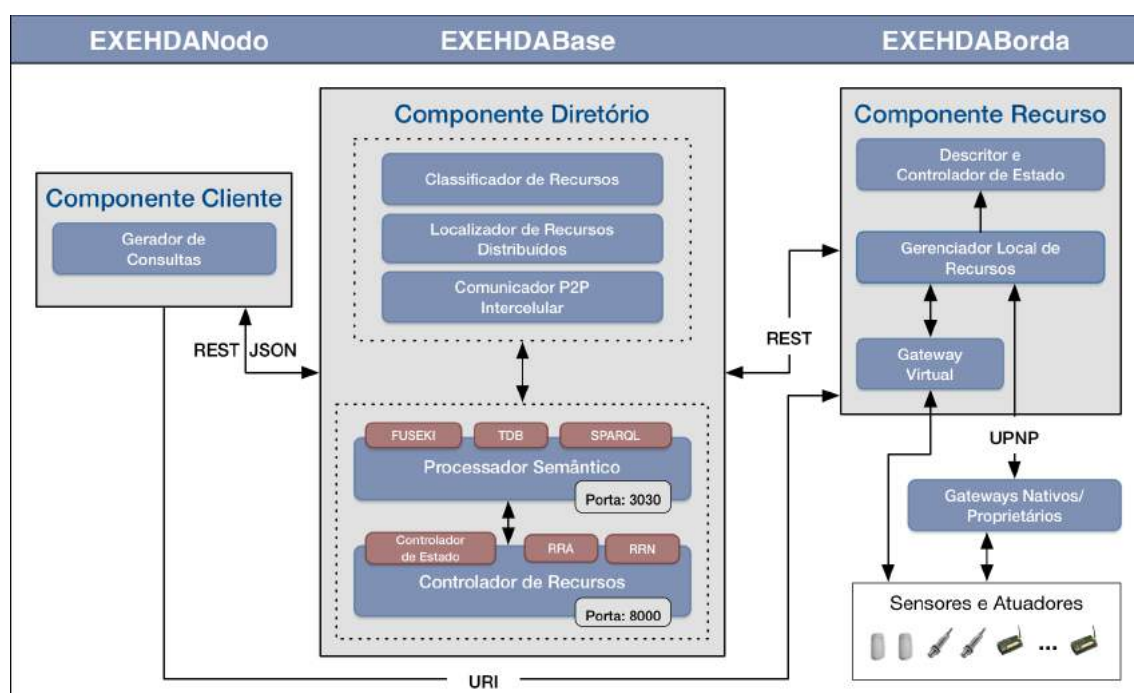


Figura 1. Arquitetura de software do EXEHDA-RD

2.1. CC - Componente Cliente

O componente CC é responsável pelo disparo da consulta por recursos, empregando critérios pertinentes as demandas do cliente. O CC é composto do módulo Gerador de Consultas.

2.2. CR - Componente Recurso

O Componente Recurso (CR) é responsável por notificar a presença do recurso. Isto é feito por troca de mensagens com o CD, dentro de um intervalo de tempo. Quando o recurso ingressa pela primeira vez em uma célula, o CR envia a descrição dos seus recursos para o CD da célula onde está localizado o recurso. O CD gera uma instância do recurso na ontologia local. O CR é composto pelos módulos Descritor e Controlador de Estado e Gerenciador Local de Recursos.

O módulo Descritor e Controlador de Estado é responsável por enviar mensagens ao CD com as características do recurso e anunciar sua presença no ambiente. O módulo Gerenciador Local de Recursos tem por objetivo realizar a descoberta de gateways através do protocolo UPnP.

O CR é ativado em nodos EXEHDA Borda, cuja finalidade é anunciar a presença dos dispositivos confinados que estão conectados aos gateways da célula.

2.3. CD - Componente Diretório

O Componente Diretório, instanciado no EXEHDA Base é formado por cinco módulos:

1. Controlador de Recursos: o qual tem 5 objetivos; (i) realizar a manutenção de estado dos recursos. Os estados possíveis são: Ativo, Inativo e Negado; (ii) gerenciar o Repositório de Recursos Ativos (RRA); (iii) gerenciar o Repositório de Recursos Negados (RRN); (iv) receber as consultas dos Componentes Cliente; (v) receber as mensagens enviadas pelos Componentes Recurso. O *lease* é um intervalo de tempo que é gerenciado pelo Controlador de Recursos. O Componente Recurso precisa renovar o *lease* do recurso localizado no CD periodicamente, caso contrário será removido do Repositório de Recursos Ativos (RRA).
2. Processador Semântico: responsável pelo processamento das consultas em linguagem SPARQL. O processamento semântico segue o padrão arquitetural REST com a integração do Apache Jena Fuseki. O componente TDB realiza a persistência de dados e o motor de inferência foi configurado para utilizar o raciocinador genérico do Apache Jena. É possível definir regras adicionais para aumentar a expressividade nas consultas.
3. Comunicador P2P Intercelular: através deste módulo o mecanismo de descoberta processa a consulta de clientes em outras células do ambiente utilizando protocolo P2P.
4. Localizador de Recursos Distribuídos: responsável por receber e organizar as respostas das consultas realizadas em outras células, recebidas pelo módulo Comunicador P2P Intercelular.
5. Classificador de Recursos: tem por finalidade realizar a classificação dos recursos mais adequados à solicitação do cliente.

2.4. Fluxo Operacional

Todo recurso possui um único UUID (*Universal Unique Identifier*) que é anunciado pelo CR ao CD, junto com as demais características do recurso. Esta mensagem é enviada a cada 30 segundos ao CD. Ao receber esta mensagem, o módulo Controlador de Recursos do CD realiza as seguintes operações para realizar o gerenciamento deste recurso:

- Na primeira mensagem recebida pelo CD, o Processador Semântico dispara o método de inserção de um novo objeto na ontologia e o Controlador de Recursos insere as informações do recurso no Repositório de Recursos Negados (RRN);
- Quando o Componente Diretório recebe a mensagem em um segundo momento, o mesmo se encontrando com estado Negado na Ontologia, ele ignora todos os métodos;
- Se o Componente Diretório recebeu a mensagem e o recurso já foi autorizado pelo administrador, o Processador Semântico realiza o disparo do método responsável em modificar o estado do recurso para Ativo na Ontologia em linguagem SPARQL;
- Confirmada a atualização de mudança de estado na ontologia, o módulo Controlador de Recursos do Componente Diretório executa o método responsável por inserir as informações do recurso na base de dados relacionais, no Repositório de Recursos Ativos (RRA);
- Ao receber uma mensagem, e o recurso em questão já estiver com seu estado configurado como Ativo na ontologia e o mesmo já estiver presente no RRA, o módulo Controlador de Recursos se responsabiliza em disparar o método responsável em atualizar a data de última atualização deste recurso no RRA.

- O módulo Controlador de Estado é responsável por verificar de 30 em 30 segundos se existem recursos no Repositório de Recursos Ativos (RRA) que não tenham sido atualizados a mais de 60 segundos da data e hora atual. Este intervalo de tempo, inicialmente configurado para 60 segundos pode ser modificado passando-se um novo valor para o atributo *lease*, em segundos, na inicialização do serviço. Ao ser executado o serviço, todos os recursos que não corresponderem aos requisitos terão seu estado modificado para Inativo na Ontologia e são removidos do Repositório de Recursos Ativos (RRA), por meio de um método executado pelo módulo Processador Semântico do Componente Diretório em linguagem SPARQL.

3. EXEHDA-RD: Cenário de Uso

O cenário proposto tem por objetivo explorar as funcionalidades dos Componentes Cliente, Diretório e Recurso, quando atuando no controle da presença de recursos e na qualificação das respostas das requisições através do aumento da expressividade promovido pelo Processador Semântico.

Na validação do EXEHDA-RD foi empregado o emulador CORE [Ahrenholz et al. 2008] para prover uma infraestrutura distribuída contendo vários recursos. Os Componentes Cliente e Recurso foram instanciados dentro do emulador CORE, o Componente Diretório, por exigir mais recursos computacionais ficou instanciado na máquina hospedeira.

Os testes foram realizados em uma máquina virtual Linux com os módulos dos Componentes implementados na linguagem Python, servidor Apache Jena Fuseki, banco de dados Postgres para manutenção dos repositórios RRA e RRN. O Fuseki foi ativado na porta 3030 e o módulo Controlador de Recursos na porta 8000. Com o servidor Apache Jena Fuseki em execução, foi feito o upload da ontologia (Figura 2) e inicializado o módulo Controlador de Estado.

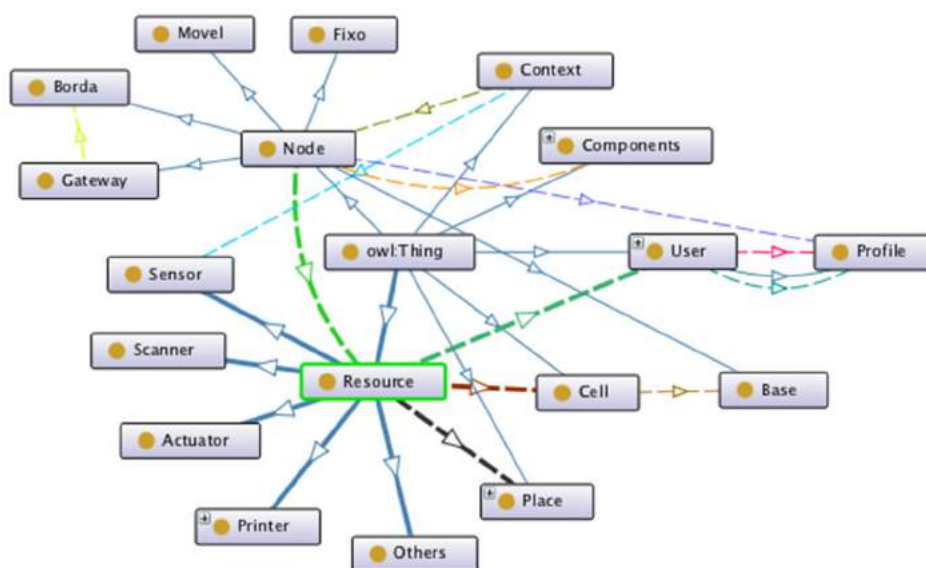


Figura 2. Ontologia desenvolvida para o EXEHDA-RD

Os recursos a serem descobertos no ambiente da IoT gerenciado pelo *middleware*

EXEHDA estão conectados em gateways. Neste cenário estão sendo utilizados Gateways Virtuais, localizados nos EXEHDABorda.

Após a inicialização dos serviços na máquina hospedeira, foram ativados os Componentes Recurso, em nodos do emulador CORE. Este procedimento tem por objetivo simular o Componente Recurso presente em um Gateway Virtual através de mensagens de anúncio no ambiente emulado.

As mensagens enviadas do CR ao CD contém o UUID do recurso e sua URI. As mensagens são enviadas de 30 em 30 segundos utilizando o padrão REST. Este intervalo de tempo pode ser alterado no CR.

Após receber a mensagem do CC, o CD verifica na ontologia a existência do UUID do recurso, caso seja um novo recurso, ele será inserido na ontologia com estado definido como Negado e armazenado no Repositório de Recursos Negados (RRN), Figura 3.

Data Output Explain Messages History						
<input type="checkbox"/>	added timesta...	uuid [PK] uuid	status caracte...	resource text	gateway text	category text
<input type="checkbox"/>	2017-01-...	4cef01da-bfa4-11e6-a4a6-cec0c932ce12	1	Sensor	GW02	Temperatura
<input type="checkbox"/>	2017-01-...	4cef01da-bfa4-11e6-a4a6-cec0c932ce14	1	Sensor	GW02	Temperatura

Figura 3. RRN - Repositório de Recursos Negados

O administrador deverá liberar os recursos através da interface WEB disponível no endereço <http://localhost/denieds/all/> para que os recursos fiquem disponíveis no ambiente. A Figura 4 apresenta o código em SPARQL utilizado na inserção de um novo recurso na ontologia pelo EXEHDA-RD.

```
sparql = SPARQLWrapper("http://127.0.0.1:3030/inf/update")
sparql.setQuery("""
PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>
PREFIX ont: <http://www.owl-ontologies.com/Ontology1251223167.owl#>
PREFIX owl: <http://www.w3.org/2002/07/owl#>

INSERT DATA {
  ont: "" + data['uuid'] + "" rdf:type ont: "" + data['resource'
    ↪ ] + "", owl:NamedIndividual .
  ont: "" + data['uuid'] + "" ont:Resource_Status 'Negado' .
  ont: "" + data['uuid'] + "" ont:Resource_Type '"" + data['
    ↪ category'] + "" .
  ont: "" + data['uuid'] + "" ont:Resource_Node ont: "" + data['
    ↪ gateway'] + "" .
}
""")

sparql.method = 'POST'
sparql.query()
```

Figura 4. Procedimento para inserção de recurso em SPARQL

O procedimento de liberação do recurso pelo administrador envia uma requisição via POST para a URL <http://localhost:8000/resources/renew/> com os dados do recurso

selecionado, sendo removido este recurso do Repositório de Recursos Negados (RRN), tendo seu estado modificado para Inativo na ontologia, o bloco de código da Figura 5 caracteriza a troca do estado do recurso na ontologia.

```

PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>
PREFIX ont: <http://www.owl-ontologies.com/Ontology1251223167.owl#>
PREFIX owl: <http://www.w3.org/2002/07/owl#>

DELETE {?resource ont:Resource_Status 'Negado' }
INSERT {?resource ont:Resource_Status 'Inativo' }

WHERE { ?resource owl:sameAs ont:%s . }

```

Figura 5. Procedimento para atualização de estado do recurso de Negado para Inativo

Após ser liberado o acesso do recurso pelo administrador, no próximo anúncio realizado pelo CR, o seu estado é modificado para Ativo na ontologia e o recurso é inserido na Repositório dos Recursos Ativos, conforme Figura 6. Assim, toda vez que o CR dispara uma mensagem de anúncio, é atualizada a data da última atualização do recurso no Repositório de Recursos Ativos, data esta que é utilizada pelo serviço de manutenção de estado dos recursos no módulo Controlador de Recursos do CD.

	added timestamp with time zone	updated timestamp with time zone	uuid [PK] uuid	uri character varying(200)
1	2017-01-27 02:29:20.933345-02	2017-01-27 02:29:31.099201-02	4cef01da-bfa4-11e6-a4a6-cec0c932ce14	http://teste.com/sensor/sensor5
*				

Figura 6. RRA - Repositório de Recursos Ativos

As requisições por recursos foram originadas através de um nodo do emulador CORE com o Componente Cliente instanciado. O CC envia a requisição ao CD em formato SPARQL (Figura 7) solicitando sensores que estão sendo gerenciados por gateways que empregam o sistema operacional Unix.

```

PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>
PREFIX ont: <http://www.owl-ontologies.com/Ontology1251223167.owl#>
PREFIX owl: <http://www.w3.org/2002/07/owl#>

SELECT *
WHERE {
    ?resource rdf:type ont:Sensor .
    ?resource ont:Resource_Node ?node .
    ?node rdf:type ont:Gateway .
    ?node ont:Node_Components ?sysope .
    ?sysope rdf:type ont:Unix .
}

```

Figura 7. Especificação de Consulta em SPARQL

O CD recebe a requisição e o Processador Semântico por sua vez retorna o resultado em formato JSON, que é devolvido ao Componente Cliente.

Para validar a expressividade com o uso de ontologias, foram realizadas duas consultas buscando sensores que estão vinculados a gateways com sistema operacional Unix. Sem o uso de raciocinador a consulta trouxe apenas um gateway com sistema operacional Solaris, enquanto ao ser utilizado o raciocinador, os resultados trouxeram também gateways com sistema operacional Linux, retornando gateways Ubuntu e Debian. As Figuras 8 e 9 apresentam os resultados obtidos diretamente da interface gráfica do servidor Fuseki. O aumento da expressividade através do raciocinador genérico do Apache Jena permitiu maximizar as respostas, retornando gateways com sistema operacional Linux, que é uma subclasse do conceito Unix.

	resource	type	node	sysope
1	ont:4cef01da-bfa4-11e6-a4a6-cec0c932ce02	"Umidade"	ont:GW02	ont:Solaris

Showing 1 to 1 of 1 entries

Figura 8. Resultado de Busca sem Raciocinador

	resource	type	node	sysope
1	ont:4cef01da-bfa4-11e6-a4a6-cec0c932ce01	"Temperatura"	ont:GW01	ont:Ubuntu
2	ont:4cef01da-bfa4-11e6-a4a6-cec0c932ce02	"Umidade"	ont:GW02	ont:Solaris
3	ont:4cef01da-bfa4-11e6-a4a6-cec0c932ce03	"Temperatura"	ont:GW03	ont:Debian

Showing 1 to 3 of 3 entries

Figura 9. Resultado de Busca com Raciocinador

A Figura 10 apresenta o resultado da consulta em JSON enviada ao Componente Cliente, com o raciocinador desativado.

```
{
  "head": {
    "vars": [ "resource" , "type" , "node" , "sysope" ]
  } ,
  "results": {
    "bindings": [
      {
        "resource": { "type": "uri" , "value": "http://www.owl-ontologies.com/
          ↪ Ontology1251223167.owl#4cef01da-bfa4-11e6-a4a6-cec0c932ce02" } ,
        "type": { "type": "literal" , "value": "Umidade" } ,
        "node": { "type": "uri" , "value": "http://www.owl-ontologies.com/
          ↪ Ontology1251223167.owl#GW02" } ,
        "sysope": { "type": "uri" , "value": "http://www.owl-ontologies.com/
          ↪ Ontology1251223167.owl#Solaris" }
      }
    ]
  }
}
```

Figura 10. Resultado JSON s/ Raciocinador

4. Trabalhos Relacionados

Esta seção discute abordagens utilizadas pelos trabalhos relacionados envolvendo a estratégia empregada para manutenção e controle da presença de recursos e o mecanismo de consultas utilizado. Na discussão são priorizados os aspectos relacionados ao gerenciamento da presença de recursos e expressividade, por estes serem aspectos centrais na proposta do EXEHDA-RD.

A arquitetura apresentada por [Talal Ashraf Butt 2012], foi modelada usando web services RESTful, onde cada recurso possui um *leasing* adaptativo que aumenta no momento em que este recurso vem se tornando menos utilizado. Desta forma, um recurso pode retornar em resultado de buscas e estar Inativo, caso tenha um *leasing* muito grande. Os recursos são agrupados de acordo com sua localização, onde um dos recursos desenvolve o papel de gerente do grupo, realizando sub-consultas, onde a complexidade das consultas são afetadas diretamente pelo poder computacional do recurso que atua com gerente do grupo de recursos.

O trabalho de [Cirani et al. 2014] propõe uma arquitetura baseada em P2P, auto-configurável, escalável para mecanismos de descoberta de recursos e serviços, sem intervenção humana. O protocolo Zeroconf foi utilizado para a descoberta de recursos dentro de redes locais. Ao ingressar no ambiente computacional, dispositivos se anunciam através do Zeroconf e o gateway percebe sua presença. A camada de serviço busca as portas de servidores CoAP em rede, enquanto a camada de descoberta permite descobrir dispositivos gerenciados por um servidor CoAP. Não há preocupação com expressividades, pois são realizadas apenas consultas do método GET para cada nó, retornando os serviços presentes e disponíveis em cada um destes nós.

Em [Andrade Junior et al. 2014] a descoberta de recursos se dá pelo conjunto de componentes utilizando funcionalidades Zeroconf com Bonjour, onde o recurso se conecta diretamente à arquitetura. Uma vez conectado e identificado o recurso, caso ele esteja presente no Servidor de Modelos, um serviço só se torna disponível caso existam modelos na arquitetura para trabalhar com o recurso conectado, e não existe uma forma de controle de *leasing* dos recursos. Questões relacionadas à expressividade não são consideradas no presente trabalho relacionado.

5. Considerações Finais

A principal contribuição do serviço proposto quando confrontado aos modelos existentes é a expressividade na representação e consulta de recursos e sua integração ao EXEHDA, expandindo a capacidade do serviço de descoberta de recursos do *middleware* para localizar dispositivos confinados, limitados, distribuídos, cuja disponibilidade pode variar ao longo do tempo.

O EXEHDA-RD visa garantir a descoberta de recursos no cenário da IoT e assegurar que as informações de estado se mantenham sempre atualizadas. Para tanto, o Serviço de Descoberta proposto possui uma linguagem de descrição e consulta com alta expressividade através da linguagem OWL, prevê a escalabilidade entre células do *middleware* EXEHDA através do protocolo P2P, possui uma arquitetura híbrida, sendo o processo de descoberta centralizado em cada célula, a descoberta em redes confinadas é realizada através do protocolo UPnP configurado nos gateways do ambiente e a invocação do recurso é feito através do protocolo HTTP considerando o padrão arquitetural REST.

Com as simulações realizadas, constatou-se a conformidade da modelagem desenvolvida com os objetivos propostos, e sua adequação com padrões e premissas que regem soluções direcionadas para a Internet das Coisas.

Na continuidade deste trabalho será desenvolvido o módulo Classificador de Recursos com critérios e algoritmos para seleção dos recursos mais adequados dentre os que forem descobertos, considerando as demandas do cliente.

Referências

- Ahrenholz, J., Danilov, C., Henderson, T. R., and Kim, J. H. (2008). CORE: A real-time network emulator. In *Proceedings - IEEE Military Communications Conference MILCOM*.
- Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., and Ayyash, M. (2015). Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 17(4):2347–2376.
- Andrade Junior, N. V. d., Bastos, D. B., and Prazeres, C. V. S. (2014). Web of Things: Automatic Publishing and Configuration of Devices. In *Proceedings of the 20th Brazilian Symposium on Multimedia and the Web, WebMedia '14*, pages 67–74, New York, NY, USA. ACM.
- Cirani, S., Davoli, L., Ferrari, G., Leone, R., Medagliani, P., Picone, M., and Veltri, L. (2014). A scalable and self-configuring architecture for service discovery in the internet of things. *IEEE Internet of Things Journal*, 1(5):508–521.
- Davet, P. T. (2015). Uma Contribuição à Inclusão Digital dos Métodos de Pesquisa Agropecuária no Cenário da IoT.
- Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., and Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, 29(7):1645–1660.
- Klusck, M. (2014). Service Discovery. In *Encyclopedia of Social Network Analysis and Mining*, pages 1707–1717.
- Lopes, J., Souza, R., Geyer, C., Costa, C., Barbosa, J., Pernas, A., and Yamin, A. (2014). A Middleware Architecture for Dynamic Adaptation in Ubiquitous Computing. *J-Jucs*, 20(9):1327–1351.
- Marin-Perianu, R., Hartel, P., and Scholten, H. (2005). A classification of service discovery protocols. *Centre for Telematics and Information Technology, Univ. of Twente, The Netherlands*, (June):5–25.
- Miorandi, D., Sicari, S., De Pellegrini, F., and Chlamtac, I. (2012). Internet of things: Vision, applications and research challenges. *Ad Hoc Networks*, 10(7):1497–1516.
- Perera, C., Zaslavsky, A., Christen, P., and Georgakopoulos, D. (2014). Context aware computing for the internet of things: A survey. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 16(1):414–454.
- Talal Ashraf Butt, Iain Phillips, L. G. G. O. (2012). TRENDY- An Adaptive and Context-Aware Service Discovery protocol for 6LoWPANs. *Wot*.

Uma proposta de arquitetura móvel baseada em visão computacional para pessoas com deficiência visual

Alexsander V. Canez¹, Gisele M. Simas¹, Henrique de S. Conceição¹, Igor P. Maurell¹, Jônatas D. Fraga¹, Mariana P. Fernandes¹, Marlon R. C. Franco¹, Matheus C. Corrêa¹, Regina Barwaldt¹, Ricardo N. Rodrigues¹

¹Centro de Ciências Computacionais (C3) – Universidade Federal do Rio Grande (FURG)
Caixa Postal 474 – 96.201-900 – Rio Grande – RS – Brasil

alex.avc@hotmail.com, giselesimas@furg.br, henriqueconceicao@furg.br ,
igorparado97@gmail.com, jonatas_fraga@hotmail.com,
marianapereira_f@hotmail.com, marlonrcfranco@gmail.com,
matheuscorrea@furg.br, reginabarwaldt@furg.br, ricardonagel@furg.br

Abstract. *This article discusses aspects about possibilities of using techniques and recent advances in the area of Computer Vision for the development of resources within the paradigm of Ubiquitous Computing, that provides the improvement in the quality of life of people with visual needs, especially in the accomplishment of daily tasks. In addition, this article proposes a Computational System for mobile that presents the tasks: i) scene classification; ii) object recognition; iii) collision detection.*

Resumo. *Este artigo discute um Sistema Computacional, os aspectos sobre possibilidades da utilização de técnicas e recentes avanços na área de Visão Computacional para o desenvolvimento de recursos a partir do paradigma de Computação Ubíqua, que proporcionem a melhoria na qualidade de vida de pessoas com necessidades visuais, especialmente na realização de tarefas do cotidiano. Além disso, este artigo propõe um Sistema Computacional para mobile que realiza as tarefas: i) classificação de cenas; ii) reconhecimento de objetos; iii) detecção de colisão. São tratados aspectos relativos à arquitetura do sistema.*

1. Introdução

Tendo em vista que cerca de 285 milhões de pessoas ao redor do mundo possuem algum tipo de deficiência visual [WHO, 2014] e são frequentemente excluídas em função de suas limitações, o desenvolvimento de Tecnologia Assistiva se torna necessário para proporcionar a inclusão das mesmas. Dessa forma, a motivação do presente projeto é a inclusão social de pessoas com deficiência visual através de soluções assistivas.

Proceedings of the XII SIBGRAPI (October 1999)

Mais especificamente, é proposta uma arquitetura *Publish/Subscribe* (*pub/sub*) para *smartphones*, que utiliza o paradigma de computação ubíqua para incorporar aplicações de técnicas recentes de visão computacional na vida dessas pessoas. A arquitetura proposta permite que as imagens capturadas pelo dispositivo sejam processadas tanto localmente por um algoritmo de detecção de colisões, quanto remotamente por algoritmos de detecção de objetos. O retorno de tais algoritmos é então informado ao deficiente visual através de síntese de voz.

O trabalho está organizado da seguinte forma: a seção 2 cita e descreve alguns trabalhos relacionados; a seção 3 apresenta a arquitetura geral e parcial proposta; na seção 4 é detalhada a implementação do sistema; a seção 5 mostra o resultado de alguns experimentos e análise qualitativa; e, finalmente, na seção 6 é apresentada a conclusão.

2. Trabalhos Relacionados

Um dos projetos da área, proposto por Ereno [Ereno, 2015], consiste em um sistema de auxílio à navegação utilizando um *Kinect* da *Microsoft* para converter vídeos em informações sonoras. A proposta é o usuário carregar o *laptop* dentro de uma mochila. Os dados do ambiente são capturados pela câmera (*Kinect*), processados pelo computador e transmitidos por fones de ouvido com tecnologia *bone conduction*. O grande problema deste projeto é mobilidade, pois é considerado um método inadequado e perigoso. O diferencial do aplicativo em andamento para o protótipo de Ereno é que, no lugar de equipamento pesados será utilizado apenas um *smartphone*.

Outro trabalho que possui uma proposta similar a do presente projeto é o *BlindTool* [Joseph, 2013], que fornece um sensor de visão para os deficientes visuais fazendo uso de uma rede neural artificial, a qual descreve os objetos assim que são identificados. A maior diferença entre o *BlindTool* e o projeto em andamento é o modo de envio das mensagens. O aplicativo de Joseph envia inúmeras imagens para a rede neural a fim de reconhecer tudo o que está em volta do usuário, enquanto a câmera do celular encontra-se em repouso.

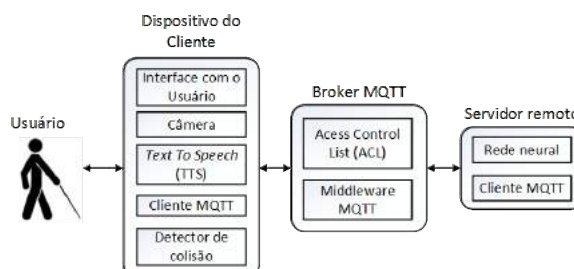
Be My Eyes [Erfurt, 2012] é um aplicativo que possui uma proposta semelhante mas aplicada de forma diferente, o usuário que necessita de ajuda solicita a assistência por meio do aplicativo. Esta requisição é enviada para um voluntário, o qual recebe o pedido, e ao aceitar, é estabelecida uma conexão de vídeo. Já o aplicativo proposto abstrai o voluntário a um sistema de classificação de objetos e detecção de colisões.

3. Arquitetura

O sistema é dividido em três partes, como apresentado na Figura 1. O Cliente é responsável pela interface com o usuário, sendo essa de fácil manuseio possibilitando que o deficiente visual inicie a captura contínua das imagens, as processando no algoritmo de colisão ou envie um *frame* específico para uma rede neural, que irá descrevê-lo. O protocolo *Message Queuing Telemetry*

Transport (MQTT) é responsável pela comunicação entre o Cliente e Servidor remoto, gerenciando a transmissão de dados em um servidor de forma segura e com privacidade.

Figura 1 - Arquitetura Geral



Fonte: Autores.

3.1. Cliente

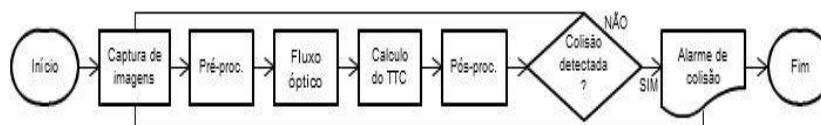
O dispositivo do cliente foi implementado em um aplicativo para *smartphone*, e a sua interface foi estruturada graficamente de maneira a simplificar o uso da mesma pelo deficiente visual, além disso é feito o uso da síntese de voz já disponível nos aparelhos. Essa parte da arquitetura capta o ambiente através da câmera e envia esse dado pela rede até o Servidor remoto e, também, aplica um algoritmo na imagem para prever futuras colisões.

Ao ser feita a captura, a imagem é enviada para o Servidor remoto utilizando o protocolo MQTT, o qual a recebe e retorna com uma *string* especificando o objeto e a cena que foram registrados. Já no sistema de colisão, a câmera inicia a captura contínua, onde um *software* que detecta obstáculos é responsável por enviar um alerta para o usuário. Com o auxílio da saída de áudio é utilizado o *plugin Text-to-Speech (TTS)*, que tem como objetivo ler essas *strings* recebidas e discursar para o usuário.

3.1.1. Sistema de Colisão

O algoritmo desenvolvido considerou a detecção de obstáculos dinâmicos e estáticos em tempo real, no qual uma colisão pode ser detectada a partir do tempo de colisão calculado através do fluxo óptico gerado pelo obstáculo. Um fluxograma básico do algoritmo é demonstrado na Figura 2, no qual suas principais etapas são brevemente comentadas a seguir:

Figura 2 - Fluxograma básico do algoritmo desenvolvido.



Fonte: Autores.

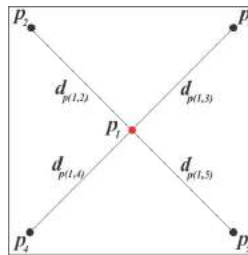
Etapa 1. Captura de imagens: são adquiridas a partir da câmera monocular não calibrada de um *smartphone*. O método não requer nenhuma calibração.

Etapa 2. Pré-processamento: as imagens são convertidas em escala de cinza e redimensionadas de 1280x720 para 384x216 *pixels*, proporcionando melhorias na eficiência computacional sem uma redução significativa no desempenho. Além disso, um filtro Gaussiano é aplicado para reduzir possíveis interferências causadas por ruídos aleatórios que possam prejudicar no fluxo óptico.

Etapa 3. Fluxo óptico: é aplicado o algoritmo de Farnebäck [Farnebäck, 2002] para encontrar no *frame* atual a correspondência entre os *pixels* do *frame* anterior. Este algoritmo calcula o fluxo óptico denso e retorna um vetor de fluxos [*flow_x*, *flow_y*] nas direções *x* e *y* de cada *pixel* da imagem.

Etapa 4. Cálculo do Tempo de Colisão (*Time-To-Collision - TTC*): neste passo, o fluxo óptico é utilizado para estimar o *TTC* para cada *pixel* da imagem, no qual a partir do modelo básico de uma câmera *pinhole* foi derivada uma equação fechada para calcular o *TTC*. Então para estimar este tempo, foi estabelecido um conjunto de pontos $P = \{p_2, p_3, p_4, p_5\}$ ao redor de um ponto central, conforme a Figura 3.

Figura 3 - Ilustração da distância Euclidiana entre p_1 e os outros.



Fonte: Autores.

Para todos os pontos $p \in P$, obtém-se a distância euclidiana entre p_1 e os demais para dois *frames* consecutivos. Então é definida a relação entre estas duas distâncias calculadas para cada $p \in P$. A partir dessa relação, é calculado o TTC_j do ponto p_1 no instante (*t*) para cada um dos *pixels* do *frame*, onde *j* é o *pixel* em análise.

Etapa 5. Pós-processamento: é aplicado um método baseado em uma heurística para remover possíveis erros no cálculo do TTC_j decorrentes da estimação do fluxo óptico. Para reduzir estes possíveis erros, operações morfológicas de erosão e dilatação removem pequenas regiões e preenchem buracos. As regiões resultantes são segmentadas e regiões com menos de 10% do total de *pixels* são removidas. Então é criado um mapa com as regiões remanescentes, no qual cada uma representa um possível obstáculo.

Etapa 6. Colisão detectada: para cada região resultante do passo anterior, o *TTC* é estimado pela média de todos os TTC_j dos *pixels* pertencentes a região, conforme a equação 1. Onde *R* é a região resultante e *n* é o número de *pixels* dessa região.

$$TTC \approx \frac{\sum_{j \in R} TTC_j}{n} \quad (\text{Eq. 1})$$

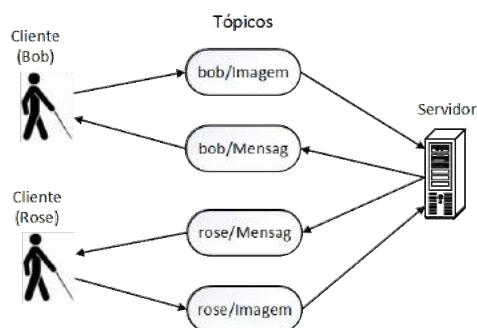
Pelos experimentos definiu-se um *threshold* de 2,5s e objetos detectados com *TTC* abaixo desse valor representam um risco de colisão.

Etapa 7. Alarme de colisão: quando o *TTC* está abaixo do *threshold*, sinais sonoros, variando na mesma proporção do risco de colisão, alertam o usuário.

3.2. Protocolo MQTT

Visando uma comunicação segura entre Cliente e Servidor remoto, a integridade da mensagem, assim como a simplicidade da comunicação, foi escolhido o protocolo MQTT, que trabalha no padrão de troca de dados *pub/sub*, onde a imagem capturada pelo dispositivo é enviada ao Servidor remoto por intermédio de um *broker*. “O princípio do modelo de comunicação *publish/subscribe* é que os componentes que estão interessados em consumir certas informações podem registrar seu interesse. Este processo de registro de um interesse é chamado de inscrição, o interessado é então chamado de um assinante” [Hunkeler, 2008]. A Figura 4 mostra um exemplo de conexão através de inscrições e publicações em tópicos no *broker*.

Figura 4 - Tópicos Pub/Sub



Fonte: Autores.

3.3. Servidor

Após receber a imagem, o servidor a processa utilizando modelos de redes neurais convolucionais (CNN, do inglês *convolutional neural networks*), que são mais rápidas e possuem uma taxa de erro menor em comparação com redes não-convolucionais [Krizhevsky et al., 2012]. Estes modelos são implementados em um Servidor remoto, com o intuito de reduzir o processamento no celular e também levando em consideração a facilidade na manutenção e na adição de novos modelos. Atualmente, como mostra a Tabela 1, são utilizados os seguintes modelos:

Tabela 1 - Modelos de Redes Neurais

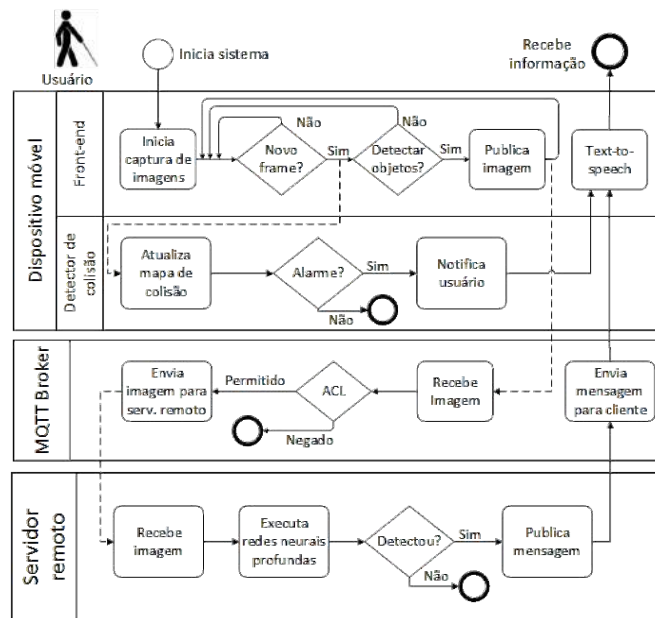
Nome	Objetivo	Classes	Idioma
<i>GoogLeNet</i>	Identificar Objetos	1000	Português
<i>Places205-GoogLeNet</i>	Identificar Cenários	205	Português
<i>Inception-v2</i>	Identificar Objetos	21.841	Inglês

Fonte: Autores.

3.4. Visão Geral

A Figura 5 retrata o fluxo de informações utilizando o *Business Process Model Notation*, em um exemplo onde o usuário (Bob) captura continuamente *frames* da câmera, que serão utilizados para o algoritmo de detecção de colisão e também, um *frame* específico, para comunicação com MQTT. O *broker*, que através do *Access Control List (ACL)*, verifica se o usuário pode publicar no tópico; a imagem é então enviada para a rede neural, o qual recebe a imagem, a processa, gera uma mensagem de texto e publica no tópico de mensagem do usuário.

Figura 5 - Representação gráfica do fluxo de informações



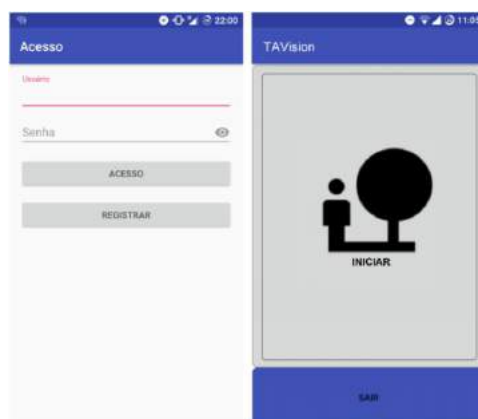
Fonte: Autores.

4. Implementação

Como ideia inicial, tem-se em vista usuários de dispositivos *Android*. Dessa forma, o cliente foi completamente implementado no *Android Studio*: uma IDE específica para desenvolver aplicações para este sistema operacional. A Figura 6 ilustra a interface do cliente: a primeira imagem é a tela de *login* e a segunda

mostra a interface principal.

Figura 6 - Interface do cliente



Fonte: Autores.

O algoritmo para detecção de colisões foi implementado em linguagem C++ usando a biblioteca de visão computacional *OpenCv*. Já para a implementação do sistema de comunicação *pub/sub* utilizou-se o *Eclipse Mosquitto*TM [Mosquitto], um *broker open source* que implementa o protocolo MQTT. Essa escolha ocorreu por conta da facilidade de configuração e implementação do *Mosquitto*TM, visto que a linguagem utilizada é C++, a qual também é utilizada na rede neural.

Um recurso importante implementado no *broker* é o *ACL*, que segundo [Uzunov, 2016], limita o acesso aos tópicos a uma lista de usuários com permissão para publicarem ou se inscreverem nos mesmos. Este recurso é utilizado para permitir que somente o servidor e o usuário que criou o tópico tenham acesso a essa informação.

O servidor foi implementado na plataforma *Qt*, e possui acesso a uma rede neural de imagens. Ele é configurado de tal forma que se comporta como um super-cliente, isto é, um cliente que pode se inscrever em qualquer tópico criado pelos outros no *broker*. Deste modo, sempre que um cliente cria um tópico e publica uma imagem, o servidor pode receber esta imagem, processá-la em sua rede neural e devolver uma descrição em forma de texto em outro tópico, onde só o cliente que publicou a imagem pode se inscrever.

5. Experimentos

Esta seção apresenta experimentos realizados com o sistema implementado, descrito nas seções anteriores. Os mesmos foram realizados com sete usuários com visão saudável, instruídos a vendarem seus olhos durante o processo. O objetivo destes experimentos é obter um *feedback* qualitativo do sistema para que no futuro sejam implementadas algumas melhorias. Posteriormente serão realizados experimentos com deficientes visuais em situações do mundo real.

5.1. Classificador de Cenas e Identificador de Objetos

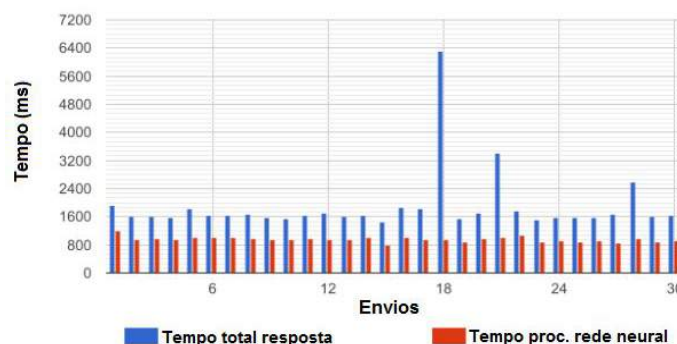
Experimento 1: Usuários foram convidados a testar aleatoriamente o classificador de cenas e o identificador de objetos em suas tarefas diárias.

Análise qualitativa: O classificador de cenas obteve avaliações positivas, sendo capaz de dar uma classificação geral na maioria do tempo. Entretanto, o identificador de objetos apresentou um maior número de discrepâncias, onde apenas objetos totalmente enquadrados foram reconhecidos, o que não é realizado facilmente sem visão. Atualmente estão sendo investigados métodos que possam aprimorar a detecção de objetos, como apresentado por [Ren et al., 2015], onde não apenas será possível reconhecer o objeto mas também determinar a sua localização mesmo em cenas imprecisas.

Experimento 2: O segundo experimento realizado consiste num teste de desempenho baseado na análise do tempo decorrido, entre o momento em que a imagem é capturada pelo dispositivo e o momento em que ocorre a execução da descrição da imagem. Para tanto foi utilizado um *smartphone* Samsung Galaxy J3, com processador Quad-Core 1.5 GHZ, memória RAM de 1.5 GB e Android 5.1.1, conectado ao *broker* através de rede *Wi-fi*; realizando 30 envios sucessivos de uma determinada imagem. Para cada envio foi registrado individualmente o tempo de processamento na rede neural (servidor) e o tempo total para o recebimento da descrição da imagem.

Análise qualitativa: Os dados de tempo de cada um dos envios foram inseridos em uma planilha e então utilizados para gerar um gráfico, apresentado na Figura 7. Embora fosse observada a ocorrência de picos isolados de tempo total de resposta, que podem ter sido causados por instabilidades na rede, o tempo de processamento permaneceu quase constante em todo o experimento. A análise do gráfico permite constatar que, para envios de um único usuário, a rede neural está funcionando adequadamente e respondendo em um tempo estável. Futuros testes com mais de um usuário enviando imagens em paralelo estão sendo desenvolvidos para que se obtenham maiores informações quanto ao desempenho do sistema em situações do mundo real.

Figura 7 - Gráfico do tempo de resposta



Fonte: Autores.

5.2. Detector de Colisões

Os vídeos foram adquiridos com a câmera de um *smartphone* com resolução de 1280x720 *pixels* e uma taxa de 30 *frames* por segundo. Foram realizados três experimentos, que são descritos a seguir:

Experimento 1: Foram gravados 20 vídeos em um ambiente controlado, onde um obstáculo móvel se desloca em direção a câmera com velocidade constante de 0,3m/s.

Experimento 2: Foram gravados 80 vídeos, sendo 5 para cada um dos 8 diferentes objetos estáticos colocados em 2 cenários predispostos a variação de luminosidade e outros ruídos, onde a câmera se desloca em direção aos objetos com velocidade média de 0,4m/s.

Experimento 3: Foram gravados 20 vídeos em 4 ambientes diferentes (2 externos e 2 internos) livres de obstáculos durante o deslocamento do usuário, sendo 5 para cada ambiente; no entanto, neste experimento haviam obstáculos laterais que não poderiam representar risco de colisão; um *smartphone* foi colocado no peito do usuário, onde ele se deslocou com velocidade desconhecida por 18s em cada cenário.

A performance do algoritmo para detecção de colisões foi dada em termos de precisão, revocação e acurácia. Já para validar o *TTC*, foi analisado o erro médio absoluto entre o *TTC* e o *ground truth* (nos experimentos 1 e 2). O *ground truth* foi estabelecido a partir da taxa de 30fps e a distância conhecida entre a câmera e o objeto.

Os resultados podem ser considerados satisfatórios, pois, de acordo com a Tabela 2 as taxas de precisão, revocação, acurácia e erro médio foram de: 93,27%, 89,06%, 92,91% e 0,29s, respectivamente (experimentos 1 e 2). Do experimento 3 obteve-se apenas a acurácia (93,22%), possibilitando avaliar a robustez do método em ambientes livres de obstáculos e predispostos a ruídos provenientes do ambiente. Entretanto, o método não foi capaz de detectar obstáculos com tempos abaixo de 1s.

Tabela 2 - Resultados dos experimentos, apresenta os valores médios.

Experimento	Precisão	Revocação	Acurácia	Erro médio
1	90,32%	93,33%	91,67%	0,18 seg
2	96,21%	84,79%	94,14%	0,40 seg
1 e 2	93,27%	89,06%	92,91%	0,29 seg
3	-	-	93,22	-

Fonte: Autores.

6. Conclusão

Este artigo apresenta um projeto em que um aplicativo possui um sistema de colisão que permite ao usuário prever possíveis obstáculos em sua trajetória

Proceedings of the XII SIBGRAPI (October 1999)

através da câmera do *smartphone*. Esse sistema é local, não necessitando de acesso à rede, o que o mantém seguro e ágil, dentro do possível, com relação às respostas. Além disso, em paralelo, o mesmo se comunica com um servidor baseado na arquitetura *pub/sub* com o intuito de capturar uma imagem e retornar uma verbalização do ambiente/objeto da mesma.

Para uma melhor integração e confiabilidade, futuramente, será implementado um sistema de amigos, onde além da rede neural, o usuário poderá receber descrições do ambiente de contatos conectados a ele, garantindo respostas mais precisas e com maior detalhamento.

Referências

- ERENO, D. **Reconhecimento de ambiente**. *Revista Pesquisa – FAPESP*, n. 232, p. 70-71, 2015.
- ERFURT, C., WIBERG, H. J., JENSEN, A. H. (2012). **BlindTool**. Disponível em: <<http://bemyeyes.com/>>. Acesso: 08 mar. 2017.
- FARNEBÄCK, G. (2002). "**Polynomial expansion for orientation and motion estimation**", Ph.D. dissertation, Linköping University, Computer Vision, The Institute of Technology.
- HUNKELER, U., TRUONG, H. L., STANFORD-CLARK, A. (2008). "**MQTT-S - A publish/subscribe protocol for Wireless Sensor Networks**". In: Communication systems software and middleware and workshops, 2008. Comsware 2008. 3rd international conference on. IEEE. p. 791-798.
- JOSEPH, P. C. (2014). **BlindTool**. Disponível em: <<https://play.google.com/store/apps/details?id=the.blindtool>> Acesso: 11 mar. 2017
- MOSQUITTO. "**An Open Source MQTT v3.1/v3.1.1 Broker**". Disponível em: <<https://mosquitto.org/>>. Acesso: 11 mar. 2017.
- REN, S., HE, K., GIRSHICK, R., and SUN, J. (2015). "**Faster r-cnn: Towards real-time object detection with region proposal networks**". In: Advances in Neural Information Processing Systems, 2015, p. 91–99.
- UZUNOV, A.V. (2016). "**A survey of security solutions for distributed publish/subscribe systems**". *Computers & Security*, v. 61, p. 94-129, ago. 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.cose.2016.04.008>>. Acesso: 11 mar. 2017.
- WHO (2014). "**Visual impairment and blindness**". fact sheet, n. 282, 2014. Disponível em: <<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs282/en/>>. Acesso: 10 mar. 2017.
- KRIZHEVSKY, A., SUTSKEVER, I., HINTON, G. E. (2012). "**ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks**". Nips Proceedings. Disponível em: <<https://papers.nips.cc/paper/4824-imagenet-classification-with-deep-convolutional-neural-networks>>. Acesso: 27 fev. 2017.

Proceedings of the XII SIBGRAPI (October 1999)

Outlier detection methods and sensor data fusion for precision agriculture

Andrei B. B. Torres¹, José Adriano Filho¹, Atslands R. da Rocha¹,
Rubens Sonsol Gondim², José Neuman de Souza¹

¹Grupo de Redes de Computadores, Engenharia de Software e Sistemas (GREat)
Universidade Federal do Ceará (UFC) – Fortaleza, CE

²Embrapa Agroindústria Tropical – Fortaleza, CE

{andreitorres, atslands}@great.ufc.br, adriano.liukin@gmail.com
rubens.gondim@embrapa.br, neuman@ieee.org

Abstract. *Precision agriculture is a concept regarding the use of technology to increase production yield while preserving and optimizing resources. One of the means to achieve that goal is to use sensors to monitor crops and adjust the cultivation according to its needs. This paper compares different techniques for sensor data fusion and detection and removal of outliers from gathered data to improve sensors accuracy and to identify possible sensor malfunction. As a case study, we monitored an experimental crop of precocious dwarf cashew using soil moisture sensors. Combining generalized ESD method and a weighted outlier-robust Kalman filter generated the best result, leading to more accurate data.*

1. Introduction

Precision Agriculture is “a management system that is information and technology based, is site specific and uses one or more of the following sources of data: soils, crops, nutrients, pests, moisture, or yield, for optimum profitability, sustainability, and protection of the environment” [Natural Resources Conservation Service, 2007].

In Brazil, The Brazilian Agricultural Research Corporation (in Portuguese, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa) recommends the use of technology as the way to make agricultural growth economically viable and sustainable, particularly due to the challenges faced by the country, such as the rational use of water, need for increased production, climate change and production efficiency [Bernardi et al., 2014].

In this context, Internet of Things (IoT) technology provides support to managing and monitoring crops, apart from optimizing the usage of resources such as water, pesticide, and fertilizers. One valuable resource that allows for a more efficient usage of water is the soil conditioner (e.g.: hydrogel), that can improve the soil moisture retention. However, it requires constant soil moisture monitoring to guarantee its efficiency, which can be provided by sensors on an IoT network.

IoT technologies have made viable the usage of a large number low-cost sensors for a fraction of the price of a high-cost specialized sensor [Sanchez et al., 2013]. Although specialized sensors have high accuracy, they also tend to have high initial and maintenance costs, which may make a large scale implementation unfeasible. Low-cost sensors do not have the same accuracy, but by applying data fusion techniques, its usage becomes feasible, by using many sensors to gather more precise data.

The goal of this research is to compare outlier detection methods as fusion techniques, and filtering algorithms to compensate the low accuracy and inherent noise in sensors readings to output a more accurate data for precision agriculture. As a case study we monitored Embrapa's experimental crop of precocious dwarf cashew using soil moisture sensors.

2. Related Work

An systematic review was performed to locate relevant work about data fusion that focused on outlier detection and improving the accuracy of sensors. Ravichandran & Arulappan [2013] propose an algorithm for validating data from Wireless Sensor Network (WSN), and the authors used real data samples from a prototype experiment of environmental monitoring. They suggested an algorithm using a combination of techniques to improve the detection of different data faults. Their proposed algorithm does not consider data fusion or signal filtering and smoothing.

Callegaro et al. [2014] propose an architecture for information fusion focused on low-cost sensors in a WSN. It targets increasing data reliability, performing a case study with atmospheric pressure sensors, focusing on outlier detection and comparing various techniques, but it does not deal with filtering and smoothing.

Lastly, Andrade et al. [2016] propose a clustering technique to be used with an outlier detection method. Similarly to the work above, the authors analyzed statistical-based methods for outlier detection with low-cost humidity and temperature sensors. Their work is the most similar to the presented in this paper, but as with the other related projects, data filtering and smoothing is not handled.

All of the cited work conclude that the usage of outlier detection techniques improved the reliability of data from WSN and that it is crucial for these techniques to be lightweight to be viable for usage in sensor nodes.

3. Data Fusion

Despite being widely used, the term "Data Fusion" does not have a definitive meaning, varying according to the context in which it is used (data fusion, sensor fusion, information fusion) [Nakamura et al., 2007]. Boström et al. [2007] proposed the following definition: "Information fusion is the study of efficient methods for automatically or semi-automatically transforming information from different sources and different points in time into a representation that provides effective support for human or automated decision making." From this point on, this work will adopt this definition for data fusion.

Data fusion can be classified according to various aspects: relationship among the sources, abstraction level of the data, among others. On fusion based on the relationship among the sources, there is no direct dependency betwixt the sensors. The relationship can be classified as complementary (sensors provide different information of the same scenario), redundant (sensors provide the same information of the same scenario) and cooperative (information from different sensors can be fused to generate a new data).

Data fusion based on the abstraction level of the data can be divided into four layers [Iyengar et al., 2001; Nakamura et al., 2007]: low-level fusion (measurement) deals with raw data that can be combined to generated more accurate information; medium-level fusion (feature) represents the features/attributes of an entity that may be fused to

create other features; high-level fusion (decision) combines decisions or features to obtain a more confident decision; and multilevel fusion represents the possibility of merging data from any level, such as fusing a measurement with a feature to generate a decision.

This work will focus in data fusion at the low-level layer, by fusing the raw data provided by redundant soil moisture sensors and improving its reliability by removing possible outliers and removing inherent noise of the measurements.

4. Outlier and Filtering Methods

Outliers are values that deviate from other readings in a sample, and they can be caused by the variability in the readings or errors in the experiment. If the outlier is identified as an error it should be removed, otherwise, it can provide valuable information [SEMATECH, 2003]. So, correctly identifying outliers is vital when analyzing data from sensors.

Moreover, after the outliers have been identified and removed (if necessary), the data might still contain noise from the environment, sensors, or by other electronic components, and the usage of a filter will help in generating a clearer and more useful data.

Various techniques were developed to detect outliers by using robust statistics, but there is no way to blindly use them on any kind of data. We have selected some methods to identify which would be more suitable for the needs of our application domain:

- **Chauvenet's Method:** This method works by taking the difference of the suspect data from the mean and divide it by the standard deviation. A normal distribution function is then used to determine the probability of the result of being outside 2 standard deviations [Taylor, 1997];
- **Peirce's Criterion:** considered more rigorous than Chauvenet's [Ross, 2003], it is an statistical method derived from a Gaussian distribution, and it can be used to detect two or more outliers.
- **Z-Score and Modified Z-Score:** Also called standard score, it is the signed number of standard deviations by which the value of an observation or data point is above the mean value of what is being observed or measured. Z-score has a limit in identifying possible outliers, expressed by $(n - 1)/\sqrt{n}$, where n is the number of samples, and the result is the maximum Z-score possible [SEMATECH, 2003]. It is recommended to use the Modified Z-Score because it uses median absolute deviation (MAD) and median instead of mean and standard deviation;
- **Generalized Extreme Studentized Deviate (g-ESD):** ESD is a method similar to Grubbs test, but it does not require an exact number of outliers to be detected, only an upper bound. It is recommended to specify a higher number of outliers than expected [SEMATECH, 2003].;
- **Adjusted boxplot:** Hubert & Vandervieren [2008] introduced a boxplot robust for skewed distribution, since regular boxplot has the limitation that the more skewed the data, too many observations might be detected as outliers.

Signal smoothing is the practice to reduce signal noise by changing values so that individual points that are higher than their neighbors are reduced, and that low values are increased [O'Haver, 1997]. Numerous filters have been developed with different techniques and goals, and we have explored some of them: Kalman filter, Weighted outlier-robust Kalman (WRKF), Savitzky-Golay, Robust locally weighted scatterplot smoothing (RLOESS and RLOWESS) and Scale-space.

5. Case Study

The goal of the experimental crop of cashew is to assess techniques to increase soil water retention and allow plants to grow more and to survive during drought seasons. To help with the experiment, we monitored the crop using soil moisture sensors in a uniform soil and evaluated various methods for data fusion, outlier detection, and signal filtering.

The experimental crop is being carried out by Embrapa in a field at Paraipaba - CE, and it presents particularities and problems that can be mitigated through this work. Currently soil moisture information is collected manually by visiting analog meters (tensiometers) once a day, and once a month the data is relayed to the research office.

5.1. Data Collection

We have built four sensor nodes inspired on the vinduino project [Van Der Lee, 2017], using Arduino Pro Mini and Irrometer Watermark 200SS soil moisture sensors. Each node includes three Watermark sensors at different depths (15cm, 45cm, 75cm). This is part of an ongoing project of an IoT data fusion architecture for Precision Agriculture, to improve sensors accuracy, detect events and anomalies and automated decision taking.

5.2. Data Analysis

Sensor nodes collected data for one week, and they were processed on a computer using Matlab R2016b. The main goal was to find a data fusion method adequate for precision agriculture sensors, and that can be run in nodes without local storage, meaning that it could not be a method that relied on full data in a time series or resource-intensive due to the nodes limited hardware. We have followed the structure presented in Figure 1: first we collected data from the nodes and applied the necessary adjustments (e.g.: converting from Ohms to KPa). Afterwards, we applied the selected outlier detection methods to the adjusted data. Finally, the selected filters were used to smooth out any noise. For this analysis, we use a fixed temperature value to adjust sensor calibration but a new experiment is underway with a soil temperature sensor to do a more precise calibration.

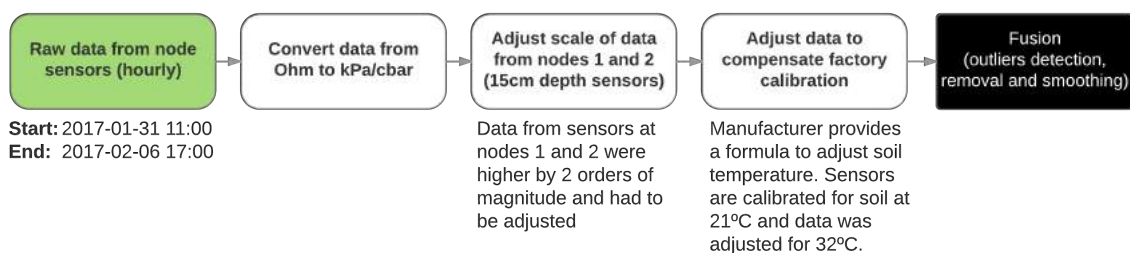


Figure 1. Data analysis flowchart

6. Results

We had some interesting scenarios to be assessed (Figure 2):

- **15cm depth:** node 2 started acting increasingly erratic;
- **45cm depth:** node 3 have clear outliers, with values 100x higher than the average (Y axis in Figure 2 had to be in logarithmic scale to make the data readable);
- **75cm depth:** node 4 had almost flat values when there should have been variation.

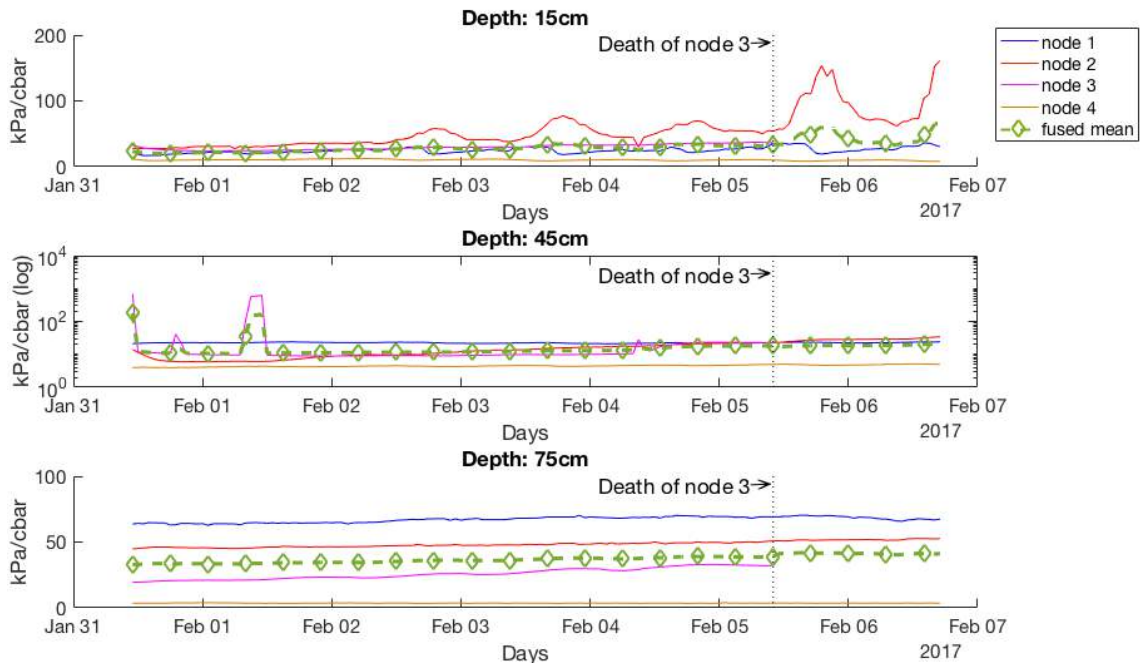


Figure 2. Raw data provided by sensor nodes

With that in mind, we had the following expectations: (i) the outlier detection method had to correctly identify the outliers from the sensors at 45cm on node 3; (ii) it also had to perform better than a regular mean of raw data; and it also had to avoid marking and removing false outliers.

6.1. Outlier Detection

6.1.1. Sensors at 15 cm depth

In Figure 3 we present outliers detected by Peirce’s Criterion and modified Z-Score. The other methods are not presented because they did not detect any outlier (full listing at Table 1 at Section 6.1.4). Peirce’s Criterion detected some peaks from node 2 but failed to detect the highest values, probably because node 3 died halfway through 2017/02/05 and it had only 3 values to compare. Modified Z-Score failed to detect the first (smaller) peaks but continued to work after the death of node 3 and successfully detected outliers.

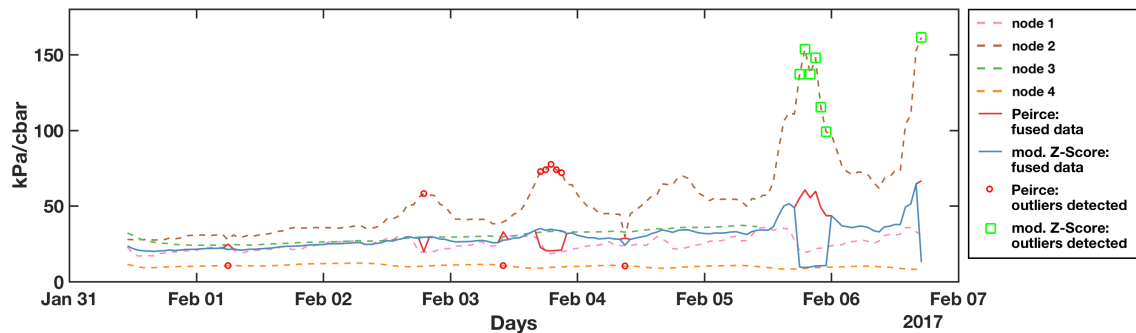


Figure 3. Outliers and fused data (15cm depth): Peirce’s Criterion and Modified Z-Score

6.1.2. Sensors at 45 cm depth

We had more interesting results due to the clear presence of outliers from node 3. Figures 4 and 5 show outliers detected by the methods, and once again some were unable to find any outlier. Also, note that due to the extreme values of the outliers on Jan 31st and Feb 01st the Y-axis had to be represented in a logarithmic scale to make the data readable.

- Adjusted boxplot: failed to detect outliers on Jan 31st and Feb 01st, probably due to the lack of more data and the spacing from the data points. On Feb 05 it started detecting outliers from node 4 when data from the other sensors started equalizing.
- Generalized ESD: it successfully detected outliers on Jan 31st and Feb 01st and also detected the same outliers of the adjusted boxplot.
- Peirce's criterion and modified Z-score: these methods were the most sensitive, detecting outliers in five of the seven days monitored. The issue is that they ended up removing valid data and would require manual fine tuning to each data set.

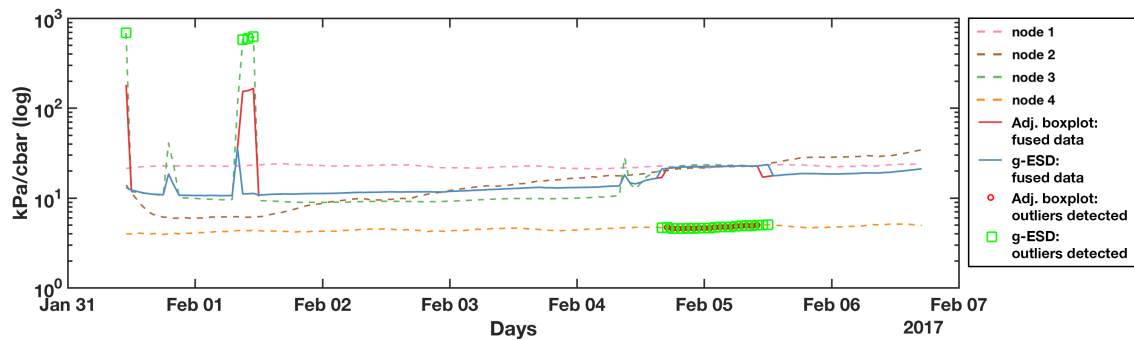


Figure 4. Outliers and fused data (45cm depth): Adjusted Boxplot and g-ESD

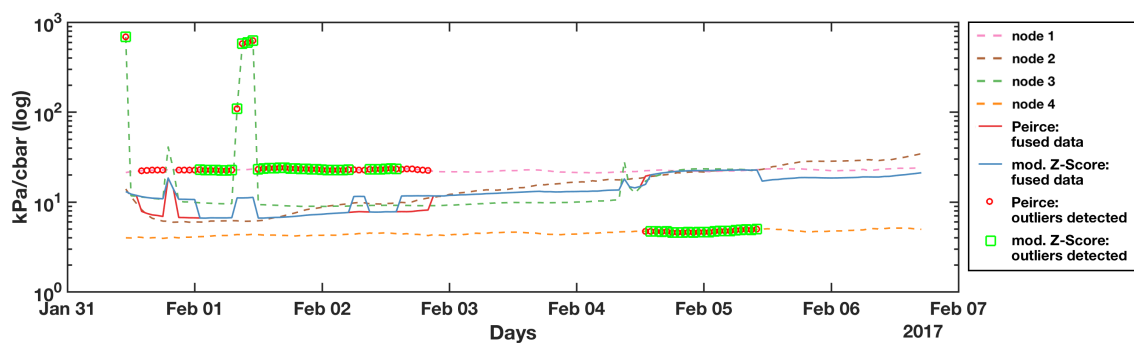


Figure 5. Outliers and fused data (45cm depth): Peirce's Criterion and Modified Z-Score

6.1.3. Sensors at 75 cm depth

All of the tested methods functioned as expected and did not detect any outliers since the values reported by the sensors did not vary.

6.1.4. Analysis

We have decided to adopt the generalized ESD method in our Precision Agriculture project because it managed to detect obvious outliers and not remove uncertain data that might still contribute valuable information. Table 1 resumes the performance of each method. Now it falls to the filters to smooth out noise and abrupt changes in the data.

Table 1. Total outliers detected and removed

	15cm	45cm	75cm	Comments
Adjusted boxplot	0	18	0	did not remove obvious outliers
Chauvenet	0	0	0	no outlier detected
Generalized ESD	0	25	0	select method
Peirce’s criterion	9	76	0	too sensitive
Z-score	0	0	0	no outlier detected
Modified z-score	7	63	0	too sensitive

6.2. Filtering

In this section, we took the data fused by the ESD method and fed it to the selected filters mentioned at Section 4. All filters managed to reduce the existing noise in the output of the ESD method, but results varied regarding the anomalous readings (spikes).

6.2.1. Sensors at 15 cm depth

In Figure 6 it is noticeable that RLOESS and RLOWESS failed to follow the original data curve after February 5th and their output stopped being reliable. Kalman filter created a more reliable and smoother output, but it was still heavily influenced by the surge at the end of Feb 5th. Moreover, the WRKF filter had the best output of them all. Figure 7 presents the output of Savitzky-Golay and scale-space, where both managed to remove noise but followed closely the format of the original data from ESD.

6.2.2. Sensors at 45 cm depth

Although ESD removed obvious outliers, some anomalous data remained and they need to be treated by the filters. Figures 8 and 9 shows that Kalman, Savitzky-Golay, and

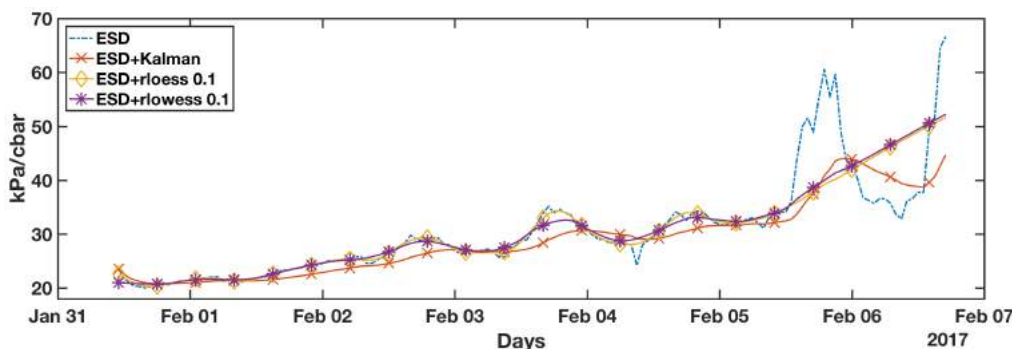


Figure 6. Filtered data for sensors at 15cm depth (a)

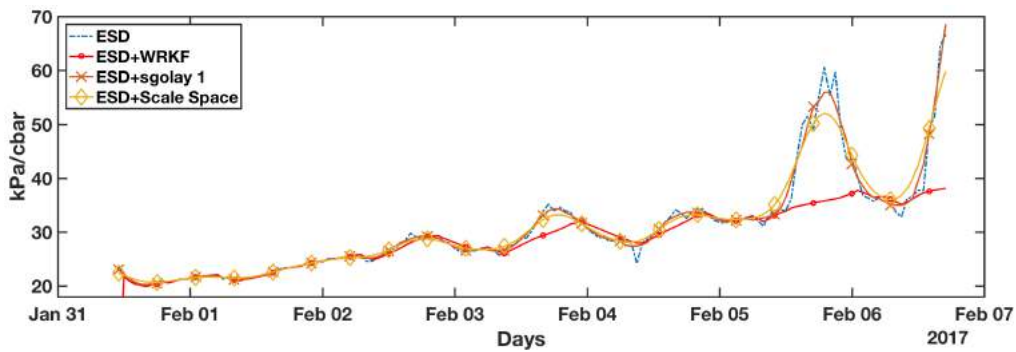


Figure 7. Filtered data for sensors at 15cm depth (b)

Scale-space were affected by spikes on Jan 31st and Feb 01st, and Kalman did better with the anomalous reading on Feb 5th. RLOESS and RLOWESS were not affected by the first remaining outliers, but only RLOWESS was resilient to spikes on Feb 5th. Once again, the best filter was WRKF, although on Feb 1st and 2nd the resulting signal is not as smooth as the other filters.

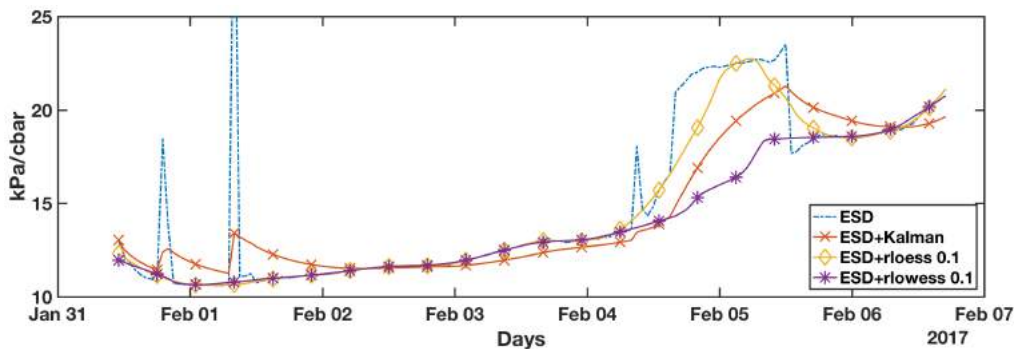


Figure 8. Filtered data for sensors at 45cm depth (a)

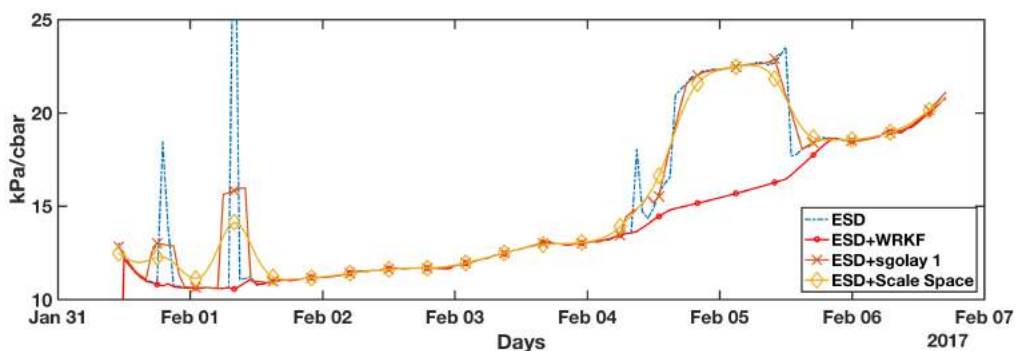


Figure 9. Filtered data for sensors at 45cm depth (b)

6.2.3. Sensors at 75 cm depth

The performance of almost every filter was similar with data from sensors at 75cm depth (Figures 10 and 11), except of Kalman, that presented a negative bias on the output, and WRKF, that once again resulted in a somewhat noisy output.

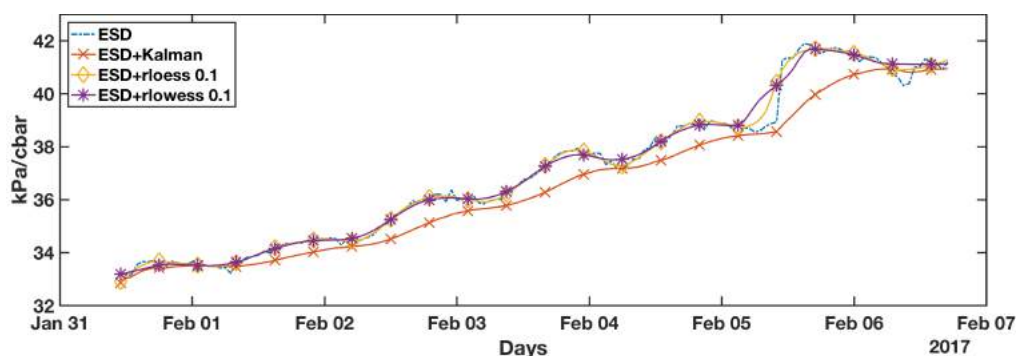


Figure 10. Filtered data for sensors at 75cm depth (a)

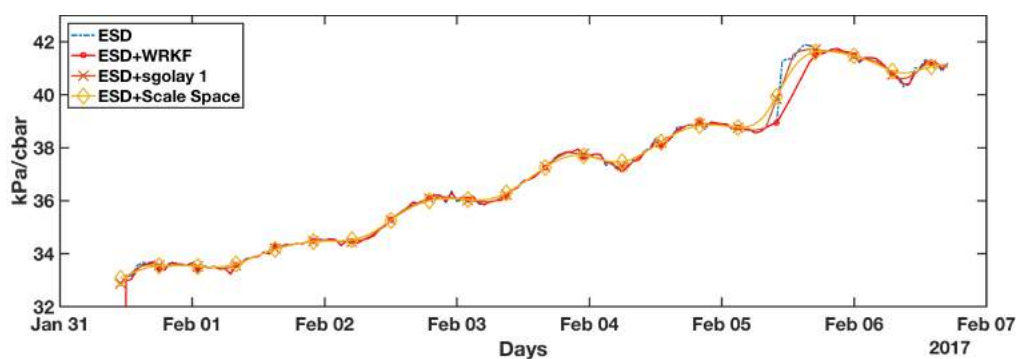


Figure 11. Filtered data for sensors at 75cm depth (b)

6.2.4. Analysis

Despite presenting some noise, most notably on data from sensors at 75cm depth, WRKF had the best performance in being resilient to residual outliers and anomalous data (possibly introduced by malfunctioning sensors).

7. Conclusion

We have monitored an Embrapa's experimental crop of precocious dwarf cashew using soil moisture sensors. Next, we performed information fusion on the gathered data provided by applying several methods of outliers detection and removal. Afterward, we tested filters to smooth out existing noise and any residual outlier or anomalous data. By analyzing each method, we have come to the conclusion that the best solution is combining generalized ESD (to fuse the data and remove outliers) and weighted outlier-robust Kalman filter (WRKF). ESD managed to fuse data from four sensors and removed outliers there were certain to be caused by errors while maintaining relevant data, and WRKF managed to filter out residual outliers and smooth peaks in the data. Also, by the test results, we can determine that four equal sensors is the lowest number necessary to identify outliers and get more reliable data, since at least one sensor will malfunction.

For future works, we are currently working on having raw data converted into feature information and getting everything to be executed locally in the sensors nodes. Besides, we intend to increase the number of sensors in the crop.

References

- Andrade, A.; Montez, C.; Moraes, R.; Pinto, A. R.; Vasques, F.; & Siva, G. L. “Outlier Detection Using k-means Clustering and Lightweight Methods for Wireless Sensor Networks.” In *42nd Annual Conference of IEEE Industrial Electronics Society (IECON)*, S. 1–6 [2016]. doi:10.1109/IECON.2016.7794093.
- Bernardi, A. C. d. C.; Naime, J. d. M.; de Resende, A. V.; Bassoi, L. H.; & Inamasu, R. Y. *Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar*. Embrapa, Brasília, DF [2014]. ISBN 9788570353528.
- Boström, H.; Andler, S. F.; Brohede, M.; Johansson, R.; Karlsson, A.; Laere, J. V.; Niklasson, L.; Nilsson, M.; Persson, A.; & Ziemke, T. “On the Definition of Information Fusion as a Field of Research.” In *IKI Technical Reports*, (October):S. 1–8 [2007]. doi:HS-IKI-TR-07-006.
- Callegaro, R.; Montez, C.; Pinto, A. R.; & Moraes, R. “Uma Arquitetura para Fusão de Dados e Detecção de Outliers em Sensores de Baixo Custo de Redes de Sensores sem Fio.” In *Anais do II Workshop de Comunicação em Sistemas Embarcados Críticos - WoCCES*, S. 3–16 [2014]. doi:10.5753/cbie.wcbie.2015.1007.
- Hubert, M. & Vandervieren, E. “An adjusted boxplot for skewed distributions.” In *Computational statistics & data analysis*, Band 52 (12):S. 5186–5201 [2008].
- Iyengar, S. S.; Chakrabarty, K.; & Qi, H. “Introduction to special issue on ‘distributed sensor networks for real-time systems with adaptive configuration’.” In *Journal of the Franklin Institute*, Band 338:S. 651–653 [2001].
- Nakamura, E. F.; Loureiro, A. a. F.; & Frery, A. C. “Information fusion for wireless sensor networks.” In *ACM Computing Surveys*, Band 39 (3) [2007]. ISSN 03600300. doi:10.1145/1267070.1267073.
- Natural Resources Conservation Service. “Precision Agriculture: NRCS Support for Emerging Technologies.” In *Agronomy Technical Note* [2007].
- O’Haver, T. “A pragmatic introduction to signal processing.” [1997].
- Ravichandran, J. & Arulappan, a. I. “Data validation algorithm for wireless sensor networks.” In *International Journal of Distributed Sensor Networks*, Band 2013 (iv) [2013]. doi:10.1155/2013/634278.
- Ross, S. M. “Peirce’s criterion for the elimination of suspect experimental data.” In *Journal of Engineering Technology*, Band 20 (2):S. 38–41 [2003].
- Sanchez, L.; Muñoz, L.; Galache, J. A.; Sotres, P.; Santana, J. R.; Gutierrez, V.; Ramdhany, R.; Gluhak, A.; Krco, S.; Theodoridis, E.; & Pfisterer, D. “SmartSantander: IoT experimentation over a smart city testbed.” In *Computer Networks*, Band 61:S. 217–238 [2013]. ISSN 13891286. doi:10.1016/j.bjp.2013.12.020.
- SEMATECH, N. “e-Handbook of Statistical Methods.” [2003]. URL <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/>. Accessed: 2017-03-16.
- Taylor, J. R. *An Introduction to Error Analysis: The Study of Uncertainties in Physical Measurements*. University Science Books, 2nd Auflage [1997]. ISBN 0935702423,9780935702422.
- Van Der Lee, R. “Vinduino: Open license project for agricultural irrigation management.” [2017]. URL <https://github.com/ReiniervdL/Vinduino>. Accessed: 2017-03-17.

The Rhadamanthys Quality of Context Architecture

Hélio Carlos Brauner Filho¹, Claudio Fernando Resin Geyer¹

¹Instituto de Informática – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)
Caixa Postal 15.064 – 91.501-970 – Porto Alegre – RS – Brazil

{hcbfilho,geyer}@inf.ufrgs.br

Abstract. *With the rising number of Internet of Things devices and context providers, the need for sorting and selecting them according to user requirements and to the quality of sensed information becomes prevalent. Thus, this paper presents the Rhadamanthys architecture, designed to fulfill this requirement using Quality of Context information for both ranking and selection. Individual Quality of Context criteria as defined in the literature are evaluated for each available provider and used in formulae to obtain a single score that enables ranking and allows selection.*

1. Introduction

Estimates on the number of *Internet of Things*(IoT) capable devices in 2015 indicate around 15.4 billion in existence, with an expected growth towards more than 30 billion devices in 2020 and further to the mark of 75 billion devices in 2025 [IHS Markit 2016].

Due to the huge number of IoT context providers, researchers have been studying and proposing new methods to allow searching and ranking such devices according to the quality of their sensed and generated data in order to allow the selection of the most appropriate providers that can solve a given task.

Some solutions that can be cited include *Cuida* [Nazário et al. 2015], *Yasar's* [Yasar et al. 2011] and *CASSARAM* [Perera et al. 2013], which have in common the use of *Quality of Context (QoC)* definitions to evaluate several sensor information criteria individually, as well as the use of a final aggregation function that could make single ranking possible.

While *Quality of Context* was first defined as “any information that describes the quality of information that is used as context information” and that it “refers to information and not to the process nor the hardware component that possibly provide the information” [Buchholz et al. 2003], the concept of *QoC* has evolved to include measurement of sensed data quality using numerical values at least since [Kim and Lee 2006].

Considering the requirements for *IoT* sensor selection and the *QoC* definitions studied, and the fact that current solutions are not flexible enough to allow new methods for *QoC* evaluation and aggregation to be used, the *Rhadamanthys* architecture was conceived. It encompasses the process of searching, ranking and selecting providers, and allows flexibility in terms of *QoC* criteria and of aggregation methods to be used. It also includes a *Graphical User Interface (GUI)* to aid users in the task of informing their needs in order for the system to determine the *QoC* value of providers.

This paper is divided into 5 sections. Section 2 presents related work. The Section 3 presents the architecture and describes its components. Section 4 presents the prototype and evaluation of the architecture. Finally, Section 5 concludes it.

2. Related Works

The works presented here were selected because they make use of *QoC* concepts in their models but do not limit themselves to basic *QoC* definitions. Two other aspects considered were:

1. the use of individual criteria (referred to as *dimensions, attributes or parameters* in works such as [Perera et al. 2013] and [Nazário et al. 2015]) for evaluating *Quality of Context*, as well as an aggregation function that results in a single *QoC* value that could enable simple ranking and selection operations;
2. the use of *QoC* criteria along with a user interface for the selection of context providers.

In [Yasar et al. 2011], some *QoC* criteria are used in order to evaluate if messages in *Vehicular Ad Hoc Networks* (VANETs) should be transmitted or dropped so as to reduce network traffic and free resources. Definitions on how to evaluate four criteria, *Temporal Relevance, Completeness of Information, Priority of Information* and *Spatial Relevance*, are given, and a definition is given stating that each of those criteria might have different weights. The final *QoC* single value is obtained by calculating the weighted average of the criteria.

In *Trust and Privacy Management Support For Context-Aware Service Platforms* [Neisse 2012], *QoC* criteria are identified as *QoC attributes*, and are defined based on an international metrology standard found in [Vim 2004]. The *QoC* model defined in that work allows *QoC* values, such as *precision* of context information values and *freshness* of timestamps, to be obtained implicitly. The defined attributes help users decide if context providers are trustworthy concerning applications such as GPS positioning and temperature measurements.

The definition of *trustworthiness* found in it differs from what is shown in [Buchholz et al. 2003] and [Sheikh et al. 2008]. The latter two consider *trustworthiness* to be a *QoC* attribute, but [Neisse 2012] considers it to be “a property of the context provider from the context consumer’s point of view, and is not a quality concept related to the context information itself” [Neisse et al. 2008]. Thus, *trustworthiness* is treated in the *Trust Management Model* and defined there instead of being defined in the *QoC Model*.

In *Context-aware sensor search, selection and ranking model for Internet of Things middleware* (CASSARAM) [Perera et al. 2013], the authors present a GUI based approach to complement their *Context Awareness for Internet of Things* (CA4IOT) [Perera et al. 2012] architecture. It allows priority assignment for several criteria to allow the selection of sensors according to user needs. By default, it has 30 criteria, called *context attributes*, available for users to select and assign priorities to using sliders, with possible values ranging from 0, *less priority*, to 1, *high priority*. The interface can be extended, allowing for more sliders to be added if new criteria are required by users to be considered.

After obtaining user priorities, weights are assigned to each of the criteria comparatively. Then, all of the values are aggregated into a single value using an index based on Euclidean distance calculation called *Comparative Priority-based Weighted Index* (CPWI). This index requires the user to inform an ideal sensor that is positioned in a

multidimensional space, with each space representing a criterion and ranging from 0 to 1 . Sensors with values closest to the ideal sensor will be selected. If no values are informed by the user, the ideal sensor has all values defaulted to 1 . The values for each sensor are then multiplied by the comparative weights resulting in a single *CPWI* value.

In *Cuida: um modelo de conhecimento de qualidade de contexto aplicado aos ambientes ubíquos internos em domicílios assistidos* [Nazário et al. 2015], an extensive study is made on *QoC* attributes in order to develop a knowledge model for *QoC* to be applied in a ubiquitous assisted household environment. The study identified a lack of standard nomenclature, standard definitions and standard quantification methods for *QoC* parameters. This resulted in the creation of an ontology model to represent *QoC*.

In order to evaluate the model, a context architecture is proposed, and within this architecture, two modules are dedicated to *QoC*. The first one is responsible for quantifying *QoC* parameters between 0 and 1 , using rules that were defined in [Nazário et al. 2014]. It is highlighted that the aggregation method, while using the same weighted average as [Yasar et al. 2011], differs from it in the way *significance* is treated as defined by [Manzoor et al. 2008]. While [Yasar et al. 2011] uses *significance* as one of the parameters in the weighted average, calling it *priority*, the approach in [Nazário et al. 2014] defines that this parameter should not lower the *QoC* value, but only be used to give different priorities when evaluating the information.

The second one is responsible for evaluating the *QoC* values that were obtained by the first *QoC* module, detecting possible problems with sensors and communication networks, or possible risks to the patient that is being monitored by the environment.

All of the related works presented *QoC* being used in some bigger context than just *QoC* definitions, showing that there are valid applications for *QoC* definitions, while a few others showed that having a user interface and quantifying *QoC* values between 0 and 1 is a trend and that those two aspects can make evaluation easier.

3. Rhadamanthys Architecture: Concepts and Model

The *Rhadamanthys Architecture* was designed to allow search, ranking and selection of context providers in a fashion similar to that of the *CASSARAM* model. Its main differences are the possibility of using different aggregation methods, the use of *QoC* profiles to make assignments easier for the user to make, and allowing the identification of redundant criteria by the user community.

3.1. Overview

The *Rhadamanthys Architecture* comprises 8 modules:

1. A *Search* module to discover the available context providers;
2. A *Weight and Requirement Assignment* module that receives assignments made by the user;
3. A *QoC Criteria Evaluation* module that evaluates each *QoC* criterion according, for the default criteria, to methods defined in the literature;
4. An *Aggregator* module that receives individual *QoC* criteria values and respective weights and returns a single *QoC* aggregated value;

5. A *QoC Profiles* module, that saves user weight and requirement assignment definitions in order to make them available to other users who might have the same needs;
6. A *Ranking* module that allows the use of different ranking methods for the values generated by the *Aggregator*;
7. A *Selection* module that uses the number of context providers informed by the user to select them based on their ranking;
8. An *Interface* that allows the user to inform weights, desired criteria etc. and shows the resulting selection.

A diagram of the modules encompassed by *Rhadamanthys* with the interactions between them is presented in Figure 1. Each of module is better explained in the following subsections.

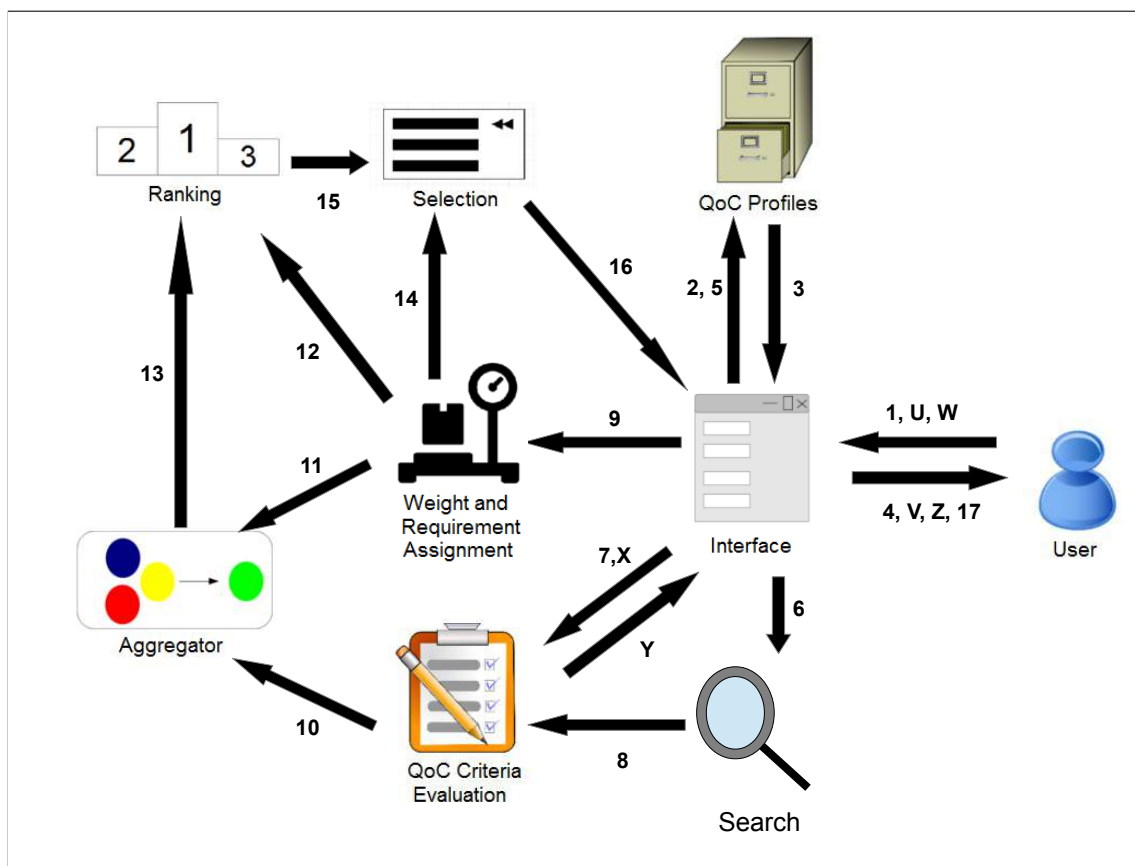


Figure 1. The Rhadamanthys Architecture with Modules and Interactions. The latter are described in the final subsection of Section 3

3.2. Search

The *Search* module finds available context providers to be tested in order to verify if they comply with user requirements. The module does so by keeping a list of all known providers and making requests for information when requested by the *Interface*.

3.3. Weight and Requirement Assignment

This module receives weights informed by the user, as well as other requirements, such as the maximum radius to consider context providers as valid candidates, the type of

provider that is required, the number of providers required, the aggregation method to be used and the desired ranking method. The selected ranking method is informed to the *Ranking* module, and the rest of the information is passed to the *Aggregator* module.

3.4. QoC Criteria Evaluation

The *QoC Criteria Evaluation* module is responsible for applying the formulae defined for each criterion to measure the corresponding *QoC* value, between 0 (*No Quality/Don't Care*) and 1 (*Best Quality*). These values are grouped according to the context provider that generated the data and sent to the *Aggregator* module.

3.5. Aggregator

The *Aggregator* module is responsible for receiving the values obtained by the *QoC Criteria Evaluation* module and the weights and other assignments from the *Weight and Requirements Assignment* module and apply the method chosen by the user to generate single *QoC* values for each context provider.

Since different aggregation methods might result in different execution times and different final results for each method, offering choices to the user allows the compromise between performance and efficiency according to need. The results are sent to the *Ranking* module.

3.6. QoC Profiles

This module is responsible for saving previous choices made by users according to an application description. To exemplify the advantage conferred by this module, one can imagine a user trying to describe his needs for an application that uses temperature measurement providers. It is possible that a previous user might have already described his needs for the same application. So, the current user might be able to use the same specifications the previous user defined by looking for the profile descriptions and finding “*Temperature measurement*” or a similar description and get the job done faster.

On the other hand, the current user might want to describe his own specification under the same description, or there might be redundant definitions for the same application with different descriptions.

In the first of the latter two cases, the *QoC Profiles* module must be able to save both descriptions and find balance between them in order to relay a single description to other users. This is ideally accomplished by an algorithm that is capable of generating a configuration with high representativeness towards the average, while discarding sets of user specifications that stray too much from it.

In the second case, definitions must be compared to see how close they are and be declared as candidates for merging. Merging can be either a manual process, when the scope of descriptions is small enough to be handled by humans, or an automated process otherwise.

3.7. Ranking

The *Ranking* module receives every value generated by the *Aggregator* module and ranks providers according to the ranking method informed by the *Weight and Requirement Assignment* module. These methods might vary according to how values are ordered (e.g.

ascending, descending) and to sorting algorithms used. The resulting ranking is then sent to the *Selection* module.

3.8. Selection

This module is selects the number of providers required by the user, and also for informs when the required amount of providers could not be met.

3.9. Interface

The *Interface* module receives all of the definitions and assignments the user makes and relay them to the other modules, and also receives information from these modules and show them to the user. Therefore, its role in the architecture is defined by how other modules and the user interact with it, and can be better understood by reading the *Interactions* subsection.

3.10. Interactions

The interactions represented by the arrows in Figure 1 are as described in this list:

- 1) The *User* interacts with the *Interface*
- 2) The *Interface* module requests current profiles to be shown to the *User*
- 3) The *QoC Profiles* module answers the requests made in 2
- 4) The *Interface* informs the *User* which profiles are currently available
- 5) The *Interface* module sends values informed by the *User* to be saved by the *QoC Profiles* module
- U) The *User* informs the *Interface* that a new *QoC* criterion will be added
- V) The *Interface* requests a definition on how to evaluate this new criterion
- W) The *User* informs, using some sort of language, the method used to evaluate this new criterion
- X) The *Interface* signals the *QoC Criteria Evaluation* module that a new criterion and its respective method will be added
- Y) The *QoC Criteria Evaluation* module signals that it has saved the information about the new criterion and its corresponding evaluation method
- Z) The *Interface* informs the *User* that the operation started in *U* has been successful
- 6) The *Interface* signals the *Search* module that the *User* has already defined his needs and is now expecting results, triggering the *Search* module to find context providers
- 7) The *Interface* informs the *QoC Criteria Evaluation* module which of the criteria must be evaluated according to the *User*
- 8) The *Search* module sends the information obtained from the context providers contacted to the *QoC Criteria Evaluation* module. The *QoC Criteria Evaluation* module applies methods to determine the value of individual *QoC* criteria in a range from 0 to 1
- 9) The *Interface* transmits the weights and other assignments made by the *User* to the *Weight and Requirement Assignment* module
- 10) The *QoC Criteria Evaluation* module sends its results to the *Aggregator* module
- 11) The *Weight and Requirement Assignment* module sends its results to the *Aggregator* module

- 12) The *Weight and Requirement Assignment* module informs the *Ranking* module the ranking method to be used
- 13) The *Aggregator* module sends its results to the *Ranking* module
- 14) The *Weight and Requirement Assignment* module informs the *Selection* module how many context providers the *User* requires
- 15) The *Ranking* module sends the final ranking to the *Selection* module
- 16) The *Selection* module returns the final list of context providers that fulfill the *User* requirements to the *Interface*
- 17) The *Interface* returns the list to the *User*

4. Prototype and Evaluation

In order to evaluate the proposed model for the architecture, a prototype implementing its main functions was developed. The programming language used was *Java*, and the GUI was developed using the *Netbeans* IDE.



Figure 2. The "Add New Dimension" prompt window. It allows users to describe new methods for criteria through *Java* code

The *Interface()* (Figure 3) has sliders ranging from 0 (*Not Important*) to 1 (*Most Important*), with big steps in order to save the user time fine tuning assignments. It also allows the addition of new criteria and their respective sliders and method codes through the "Add New Dimension" button, and the selection of ranking and aggregation methods (those are combined e.g. "Weighted Average - descending order"). Currently, the methods are described through *Java* code (Figure 2). The *Interface* also provides the option to select if context providers that are not of the specific type required by the user, but that can generate similar data (e.g using accelerometer information when the required provider type is "seismometer") will be a part of the ranking.

The *QoC Criteria Evaluation* module was implemented using several of the definitions found in the literature, for parameters such as *Up-to-Dateness*, *Completeness* and *Battery Life*. Values vary from 0 to 1, as modeled.

The *QoC Weight and Requirement Assignment* module also uses the 0 to 1 range variation, and does not use the comparative approach proposed in *CASSARAM*, but rather the defined weights directly.

The *QoC Profiles* implementation has used a simple method to verify its feasibility. An algorithm was implemented that picks the first definition related to an application

description as standard. The standard remains so until some other definition for the same application differs too much from it (1/3 of criteria with a difference of at least 0.2 between one user assignment and the other). When this happens before 10 definitions are made, the default action is to no longer show those definitions to users until it reaches that number of definitions, when the new definition is obtained through average. If it does not differ, the standard remains. While not ideal, this algorithm shows that, given the proper attention in order not to allow the problem of divergent definitions to cripple it, *QoC Profiles* can be a valuable aid for users to save time using predefined assignments. The current number of definitions required was defined as 10 to make tests easier.

The *Search* module currently reads a dummy file containing a list of descriptions for available providers and sends it to the *Interface*.

Based on the approaches shown in the literature, two aggregation methods were implemented for the *Aggregator* module: *Weighted Average* (Equation 1) and *Euclidean Distance Based* (Equation 2). *EDB* is based on the approach presented in [Perera et al. 2013], modified to solve a problem where the ranking was inverted. The equations for these two methods are described in the next subsection.

The implementation of these two showed that different methods can be used for aggregation. Also, tests using pseudo-random values showed that *Weighted Average* is more than two times faster and has better results than *EDB*, because the standard deviation for *WA* is smaller in at least 80 % of the cases, and in the cases where *EDB* has a better result the difference towards *WA* is smaller than a hundredth.

Also, three different ranking methods were implemented for the *Ranking* module, using *ascending*, *descending* and *random order*. This made it easier for different scenarios to be tested. The descending order makes it easier to detect failing context providers, and the random order can be used for statistical studies.

4.1. Equations

Equation 1 for the *Weighted Average* aggregated *QoC* value assignment is as follows:

$$WAvg = \frac{\sum_{i=0}^n (C_i * W_i)}{\sum_{i=0}^n W_i} \quad (1)$$

Where C_i is the quality value for criterion i obtained through the *QoC Criteria Evaluation* module and W_i is the assigned weight for criterion i .

Equation 2 for the *Euclidean Distance Based* method is described as:

$$EDB = 1 - \sqrt{\sum_{i=1}^n [W_i (U_i^d - S_i^\alpha)^2]} \quad (2)$$

Where W_i is the normalized weight assigned through the sliders for criterion i (that is, the ratio between the assigned weight and the sum of all assigned weights), U_i^d is the user-defined ideal value for criterion i and S_i^α is the value attributed to sensor α , (α being any sensor in the complete set of evaluated sensors) for criterion i by the *QoC Criteria Evaluation* module.

Figure 3. Interface implemented in Java. On the top left, the "Add New Dimension" button and the selector for ranking method and ordering. On the top right, options to select or add profile, define maximum radius, sensor type and required number. On the bottom, the sliders that enable weight assignment for criteria

5. Conclusion

The research made has shown that with the growing numbers of *IoT* capable devices, the need for methods that allow selection of devices amid those has increased.

Since the solutions shown in the related works that focus on *QoC* based selection did not present an architecture that allowed new criteria evaluation methods to be added, the *Rhadamanthys Architecture* was proposed, and its main aspects were detailed in this paper.

Advantages of the *Rhadamanthys Architecture* compared to other solutions include the *QoC Profiles* that enable users to inform their needs with ease, and the possibility of adding new criteria evaluation methods.

To prove the proposal feasible, a prototype implemented in *Java*, with a GUI developed with the *Netbeans* IDE was made. It confirmed that the architecture is capable of, within the described *QoC* value assignment model used, supplying different needs, allowing different configurations that can make it easier to detect the best or worst context providers and to make tests with random selections. It was also shown that the *QoC Profiles* might be an option to help users describe needs concerning context providers for applications.

This work has also shown that *EDB* is not an efficient method for aggregation, and the original algorithm in [Perera et al. 2013] results in inverted rankings.

For future works, evaluations to determine the overall performance of the system with large amounts of simulated providers are planned. Also, the implementation of a *QoC Criteria Evaluation* module to be installed on the *IoT* devices is going to be made, in order to verify if a performance gain on the server side where the main system is based is possible without sacrificing too much of the device battery, memory and processing power.

The interactions between the *Search* module and the providers should also be better studied. Other ways to describe methods for calculating criteria informed by the user will be studied. The evaluation will also involve at least one use case with opportunistic

networks. Interface improvements, new interactions and studies on security concerns are also planned.

References

- Buchholz, T., Küpper, A., and Schiffers, M. (2003). Quality of context information: What it is and why we need it. In *Proceedings of the 10th HP OVUA Workshop, 2003*.
- IHS Markit (2016). Complimentary Whitepaper: IoT Platforms - Enabling the Internet of Things. <https://www.ihs.com/Info/0416/internet-of-things.html>. [Online; accessed 19-March-2017], qtd. in <https://www.forbes.com/sites/louiscolombus/2016/11/27/roundup-of-internet-of-things-forecasts-and-market-estimates-2016/6101ec2b292d>.
- Kim, Y. and Lee, K. (2006). A quality measurement method of context information in ubiquitous environments. In *Hybrid Information Technology, 2006. ICHIT'06. International Conference on*, volume 2, pages 576–581. IEEE.
- Manzoor, A., Truong, H.-L., and Dustdar, S. (2008). On the evaluation of quality of context. In *European Conference on Smart Sensing and Context*, pages 140–153. Springer.
- Nazário, D. C., Dantas, M. A. R., and Todesco, J. L. (2014). Context management: toward assessing quality of context parameters in a ubiquitous ambient assisted living environment. *JISTEM-Journal of Information Systems and Technology Management*, 11(3):569–590.
- Nazário, D. C. et al. (2015). Cuida: um modelo de conhecimento de qualidade de contexto aplicado aos ambientes ubíquos internos em domicílios assistidos.
- Neisse, R. (2012). *Trust and privacy management support for context-aware service platforms*. Number 11-216. University of Twente, Centre for Telematics and Information Technology (CTIT).
- Neisse, R., Wegdam, M., and Van Sinderen, M. (2008). Trustworthiness and quality of context information. In *Young Computer Scientists, 2008. ICYCS 2008. The 9th International Conference for*, pages 1925–1931. IEEE.
- Perera, C., Zaslavsky, A., Christen, P., Compton, M., and Georgakopoulos, D. (2013). Context-aware sensor search, selection and ranking model for internet of things middleware. In *Mobile Data Management (MDM), 2013 IEEE 14th International Conference on*, volume 1, pages 314–322. IEEE.
- Perera, C., Zaslavsky, A., Christen, P., and Georgakopoulos, D. (2012). Ca4iot: Context awareness for internet of things. In *Green Computing and Communications (Green-Com), 2012 IEEE International Conference on*, pages 775–782. IEEE.
- Sheikh, K., Wegdam, M., and van Sinderen, M. (2008). Quality-of-context and its use for protecting privacy in context aware systems. *JSW*, 3(3):83–93.
- Vim, I. (2004). International vocabulary of basic and general terms in metrology (vim). *International Organization*, 2004:09–14.
- Yasar, A.-U.-H., Paridel, K., Preuveneers, D., and Berbers, Y. (2011). When efficiency matters: Towards quality of context-aware peers for adaptive communication in vanets. In *Intelligent Vehicles Symposium (IV), 2011 IEEE*, pages 1006–1012. IEEE.

Geração Automática de Código para Aplicações Móveis Centradas em Dados Suportando Diferentes Infraestruturas de Nuvem

Kellerson Kurtz¹, Adenauer Correa Yamin¹, Lisane B. Brisolara¹

¹Centro de Desenvolvimento Tecnológico – Universidade Federal de Pelotas (UFPEL)

{kkurtz, adenauer, lisane}@inf.ufpel.edu.br

Abstract. *This work proposes a code generation model-driven approach for applications centered on data stored in the cloud. Our approach is based on the application modeling using UML diagrams, and defines rules to model the interaction application to cloud, aiming to turn it independent of the adopted cloud infrastructure. Thus, the proposed approach allows the employment of different infrastructures without requiring specific knowledge of its APIs, besides support easy migration among different infrastructure. Moreover, this paper discusses the integration of the proposed approach into a code generation tool. Both approach and its automation are validated through a case study.*

Resumo. *Este trabalho propõe uma abordagem orientada a modelos para a geração de código para aplicações centrada em dados na nuvem. A mesma baseia-se na modelagem da aplicação usando diagramas UML e define regras para modelar a interação da aplicação com a nuvem, visando torná-la independente da infraestrutura de nuvem adotada. Desta forma, a abordagem proposta permite o emprego de diferentes infraestruturas de nuvem sem exigir conhecimentos específicos de suas APIs, além de permitir fácil migração entre diferentes infraestruturas. Além disso, este artigo discute a integração da abordagem proposta em uma ferramenta de geração de código. Abordagem e automatização propostas são validadas através de um estudo de caso.*

1. Introdução

Hoje em dia, *tablets* e *smartphones* representam a maior parte dos acessos a internet, serviços e sistemas de informação [CISCO 2016]. No entanto, desenvolver aplicações móveis possui uma série de dificuldades adicionais, dentre as quais destacam-se: limitações de capacidade de armazenamento, processamento e restrições de consumo energético. Estas limitações aumentam significativamente o tempo de desenvolvimento.

Para contornar as limitações de processamento, armazenamento e consumo de energia, a computação móvel na nuvem [Dinh et al. 2013] vem sendo empregada. Usando recursos na nuvem, aplicações móveis não ficam limitadas aos recursos dos dispositivos, podendo armazenar um grande volume de dados, obter maior poder de processamento e, também, reduzir o consumo energético. Um grande número de aplicativos emprega a nuvem para armazenamento de dados, nestes casos usualmente os aplicativos realizam operações de criação, leitura, edição e remoção de dados (CRUD), podendo ser classificados como aplicativos orientados a dados [Xanthopoulos and Xinogalos 2013].

Embora os benefícios da utilização de computação na nuvem sejam evidentes, o seu uso também acarreta em um aumento no período de desenvolvimento, pois *APIs* e *frameworks* específicos devem ser empregados o que implica em desafios adicionais aos desenvolvedores. Cada infraestrutura de nuvem oferece uma interface distinta de comunicação aplicação-nuvem, o que dificulta a portabilidade do aplicativo de uma infraestrutura para outra, além de exigir conhecimentos específicos sobre a plataforma a ser empregada na implementação do aplicativo [Gonidis et al. 2013].

Um paradigma bastante utilizado no desenvolvimento de *software* é o desenvolvimento orientado a modelos. Neste paradigma, modelos são construídos desde a análise e projeto do *software* e estes modelos guiam o seu desenvolvimento [Papotti 2013]. Estes modelos normalmente são descritos usando a linguagem padrão UML e são compostos de uma série de diagramas que constituem visões diferentes do *software*. Estes diagramas são então utilizados como entrada em ferramentas de geração automática de código, visando acelerar a obtenção de uma implementação do *software*.

A *GenCode* [Parada et al. 2013] [Parada et al. 2015] é um exemplo de ferramenta disponível para a geração automática de código a partir de modelos UML. Esta utiliza diagramas de classe e de sequência para automatizar a geração de código para aplicações móveis para os sistemas operacionais *Android* e *Windows Phone*. No entanto, a ferramenta *GenCode* não gera trechos de código responsável pela interação do aplicativo móvel com uma dada infraestrutura de nuvem. Esta limitação está relacionada ao fato de notações e metodologias padrão empregadas para a modelagem do *software* não oferecerem suporte a representação desta interação.

Para resolver esta limitação, este trabalho define uma abordagem padronizada para modelagem de aplicativos orientado a dados, visando suportar a geração de código para diferentes infraestruturas de nuvem. Para demonstrar nossa abordagem, este trabalho propõe uma extensão da ferramenta *GenCode* – denominada *GenCodeCloud* – com foco na geração automática de código *Android* responsável pela interação aplicação-nuvem. A geração de código proposta baseia-se na padronização da modelagem desta interação, que torna a modelagem independente da infraestrutura empregada, e assim facilita o suporte a diferentes infraestruturas. Através de um estudo de caso que faz emprego da abordagem proposta, os principais pontos da mesma são discutidos.

Este artigo está organizado da seguinte maneira. Na Seção 2 são discutidos trabalhos relacionados. Na Seção 3 é discutido o suporte a operações de manipulação de dados armazenados nas plataformas de nuvem, mencionando duas plataformas de nuvem distintas. A abordagem proposta é detalhada na Seção 4 e um estudo de caso é apresentado na Seção 5. Na Seção 6, conclusões e trabalhos futuros são apresentados.

2. Trabalhos Relacionados

Aplicações móveis dirigidas a dados ou centrada em dados estão cada vez mais sendo empregadas, no entanto seu desenvolvimento exige uma série de preocupações [Agrawal et al. 2013]. Recentemente, *frameworks*, *APIS* e infraestruturas têm sido propostas para facilitar o desenvolvimento destas aplicações, muitos destes esforços focam na sincronização dos dados do dispositivo e com a nuvem, como *Mobius* [Chun et al. 2012] e *Simba* [Agrawal et al. 2013]. Ambos baseiam-se em *APIs* e *frameworks* no nível de código e não na abstração e transparência provida por modelos.

Abordagens orientadas a modelos têm sido propostas para lidar com os desafios do desenvolvimento de aplicações móveis tais como *GenCode*, *XIS-Mobile* [Ribeiro et al. 2014], e *MobiCloud* [Ranabahu et al. 2011]. *XIS-Mobile* define um perfil UML para descrever modelos independentes de plataforma e suporta a geração de código para as plataformas *iOs*, *Android* e *Windows Phone*. Similar ao *XIS-Mobile*, *GenCode* também foca na geração de código para múltiplas plataformas a partir de modelos UML. Porém, dentre as citadas, apenas *MobiCloud* aborda aplicações de computação na nuvem e o suporte às operações CRUD. Embora, um esforço interessante por gerar também o *back-end* das aplicações para as plataformas *Google App Engine* e *Amazon EC2*, o *MobiCloud* usa uma linguagem textual de domínio específico para representação da aplicação.

O problema da migração de uma aplicação de uma plataforma de nuvem para outra é discutido em [Gonidis et al. 2013] através de um estudo de caso com uma aplicação simples de CRUD. No entanto, este é um trabalho inicial, que discute desafios, mas não propõe soluções nem no nível de código e nem no nível de modelos.

Nossa abordagem visa tratar aplicações centradas em dados desde a modelagem e assim permitir a geração automática de código referente a estas operações, sem exigir do desenvolvedor conhecimentos específicos de uma dada infraestrutura de nuvem. Além disso, nossa abordagem é baseada em modelos UML, sem propor extensões da linguagem ou empregar notações não padronizadas ou ainda linguagens textuais como a *MobiCloud*.

3. Suporte ao CRUD nas Plataformas de Nuvem

Devido a sua importância em aplicações centradas em dados, operações CRUD são suportadas pelas diferentes plataformas de nuvem disponíveis no mercado. Embora as operações suportadas pelas plataformas possuam a mesma função semântica, cada plataforma de nuvem possui uma interface de comunicação distinta das demais, dificultando o trabalho de desenvolvedores. Nesta seção, as plataformas *Google App Engine*¹ e *Bluemix*² são revisadas, visando detalhar aspectos relacionados a como estas plataformas tratam as operações CRUD, permitindo a compreensão da abordagem proposta e do estudo de caso.

A *Google App Engine*, por exemplo, oferece um recurso adicional para armazenamento de dados, chamado *Firebase*, e organiza os dados de forma hierárquica em um sistema de diretórios. Para acessar os dados, a aplicação utiliza referências para diretórios ou arquivos específicos, a partir das quais as operações CRUD são realizadas. Com o armazenamento organizado por diretórios, a aplicação necessita gerenciar o caminho de diretórios que precisam ser acessados para a manipulação de cada dado hospedado. Um meio usual para gerenciamento deste sistema de armazenamento, é nomear cada diretório com o atributo identificador do objeto nele armazenado. Nesse sistema, cada objeto possui uma chave de acesso - nome de diretório - para referência na infraestrutura de nuvem.

A plataforma *Bluemix*, diferentemente da *Google App Engine*, não organiza seus dados em diretórios e apenas exige que objetos a serem hospedados na nuvem sejam derivados da classe *IBMDataObject*. A partir desta relação, são herdados métodos que realizam as operações de criar, atualizar e remover o objeto na nuvem. Ao solicitar a operação de leitura de um tipo de objeto na nuvem, é retornado uma lista com todos os

¹<https://cloud.google.com/appengine/>

²<http://www.ibm.com/cloud-computing/bluemix/br-pt/>

objetos deste tipo hospedados na infraestrutura, diferentemente da plataforma *Google App Engine* que permite a leitura de objetos específicos.

A plataforma *Google App Engine* oferece um conjunto de *listeners* que monitoram alterações nos dados hospedados na nuvem e mantém a aplicação com os dados atualizados. Dessa forma, a sincronização dos dados é garantida, sem a necessidade de implementação de eventos periódicos para sincronização ou preocupação com a desatualização dos dados no momento de operações locais sobre os dados.

A plataforma *Bluemix* já necessita que, periodicamente, a aplicação exclua suas listas de objetos locais e faça o *download* de todos estes objetos novamente para garantir a sincronização dos dados com a infraestrutura de nuvem. Com esta limitação pode ocorrer atraso na sincronia dos dados - quando a frequência da atualização dos dados é baixa - ou custo computacional elevado - quando a atualização é feita excessivamente.

4. Modelagem e Geração de Código: Abordagem Proposta

A abordagem proposta contempla aspectos desde a modelagem da aplicação até a geração automática de código. Nesta seção, estes dois aspectos da abordagem são discutidos, bem como a implementação de seu suporte junto a uma ferramenta de geração de código.

4.1. Modelando Aplicações CRUD Empregando a Nuvem

Tradicionalmente, diagramas UML são empregados para modelagem de *software*, representando diferentes perspectivas do *software*. Em [Parada et al. 2015], diagramas de classes e de sequência são empregados para descrever estrutura e comportamento visando a geração de código. Nossa abordagem complementa estes modelos de forma a padronizar e explicitar a interação da aplicação com a infraestrutura de nuvem.

Para a modelagem da comunicação de uma aplicação centrada em dados com a nuvem, três pontos precisam ser modelados: quais tipos de objetos serão hospedados na nuvem, quais operações CRUD serão realizadas sobre cada tipo de objeto e, também, quais classes serão responsáveis por realizar estas operações em cada tipo de objeto.

Na modelagem proposta, estes três pontos são modelados facilmente a partir, unicamente, do diagrama de classes da aplicação e de um pequeno conjunto de regras para sua construção. A identificação da classe ou classes de objetos que serão armazenados na nuvem é realizada através de uma relação de herança com uma superclasse chamada *CLOUD*. As classes derivadas de *CLOUD*, também precisam possuir um atributo chamado *key* do tipo *String*. Este atributo servirá de identificador dos dados na nuvem, sendo empregado nas buscas. As operações CRUD a serem implementadas para cada tipo de objeto devem ser representadas por métodos presentes nas classes que serão responsáveis por realizar as operações e devem conter o seguinte formato de nomenclatura: "*<operação><tipo_de_objeto>*", no qual "*<operação>*" deve ser substituído por *create*, *read*, *update* ou *delete*; e "*<tipo_de_objeto>*" pelo tipo a ser manipulado na operação.

As informações capturadas no diagrama de classes construído permitem a implementação automática das operações CRUD, comandos de configuração e linhas para tratamento de exceções da comunicação entre a aplicação e a infraestrutura de nuvem. Quando este modelo de classes é complementado com diagramas de sequência, a ferramenta consegue aumentar a sua capacidade de geração automática de código, visto que

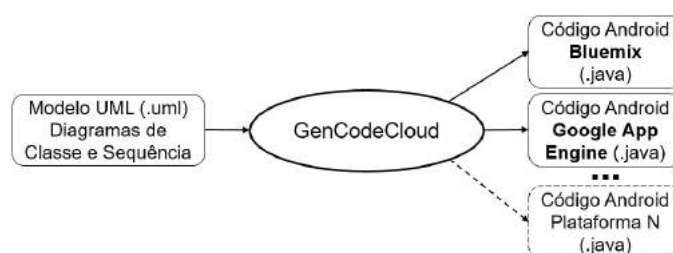


Figura 1. Fluxo de geração proposto

interações de outros objetos da aplicação com as operações CRUD poderão ser descritas, assim como mais detalhes do comportamento da aplicação pode ser capturado.

4.2. Fluxo de Geração Proposto

A Figura 1 apresenta o fluxo proposto para geração automática de código para a interação entre uma aplicação *Android* e múltiplas plataformas de nuvem. O modelo UML serve de entrada para a ferramenta *GenCodeCloud* capaz de gerar código para diferentes plataformas de nuvem.

Os diagramas UML são construídos na ferramenta *Papyrus*³, que gera um único arquivo XML contendo todas as informações presentes no modelo. Primeiramente, a ferramenta *GenCodeCloud* realiza a leitura de todas as informações contidas nos diagramas, capturando-as em uma estrutura de classes (estilo metamodelo). Após, a ferramenta analisa as classes e métodos descritos no diagrama de classes, conforme funcionalidade herdada da ferramenta *GenCode*.

Posteriormente, a *GenCodeCloud* identifica os pontos de comunicação com a plataforma de nuvem, considerando as regras de modelagem propostas, para que a geração de código apropriada seja realizada. A partir de um mesmo arquivo XML de entrada, como o modelo é independente de plataforma, a ferramenta pode gerar código compatível com diferentes plataformas de nuvem. O código gerado a cada execução da ferramenta é adaptado à interface de comunicação da infraestrutura de nuvem selecionada pelo usuário.

4.3. Implementação da *GenCodeCloud*

A ferramenta *GenCodeCloud* é uma extensão da ferramenta *GenCode*, a qual inclui o suporte ao padrão de modelagem proposto neste trabalho e, também, à geração de código compatível com as plataformas *Google App Engine* e *Bluemix*. Esta emprega a mesma estruturação de classes da *GenCode*, porém estende algumas de suas classes visando o suporte a captura e geração da interação da aplicação com a nuvem, conforme ilustrado na Figura 2.

No pacote *Utilities* encontra-se a classe *Parser*, responsável pela captação dos dados presentes nos diagramas UML. Na implementação da *GenCodeCloud*, a classe *CloudParser* foi implementada como derivada da classe *Parser* original. A *CloudParser* sobrescreve métodos do parser para incluir a captura e interpretação da interação com a nuvem segundo a modelagem proposta neste trabalho. A classe *CloudParser* é utilizada na geração de todos os projetos que utilizam armazenamento na nuvem e seus métodos são independentes da plataforma de nuvem selecionada pelo usuário.

³<https://eclipse.org/papyrus/>

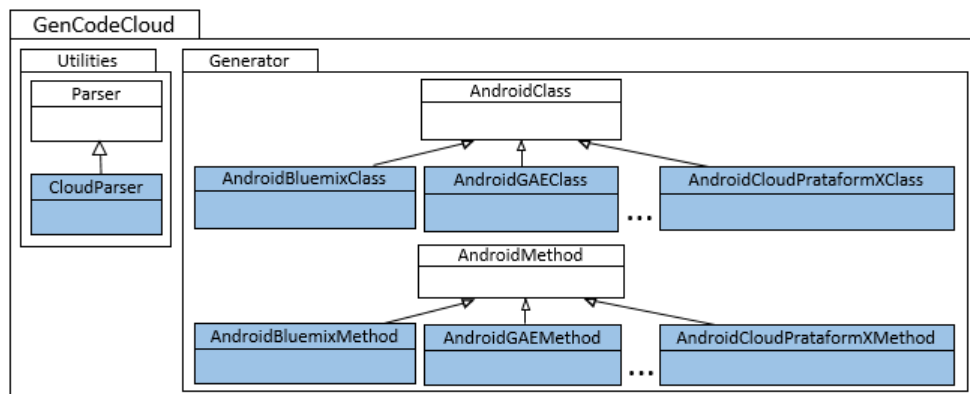


Figura 2. Estrutura da GenCodeCloud - extensão da GenCode

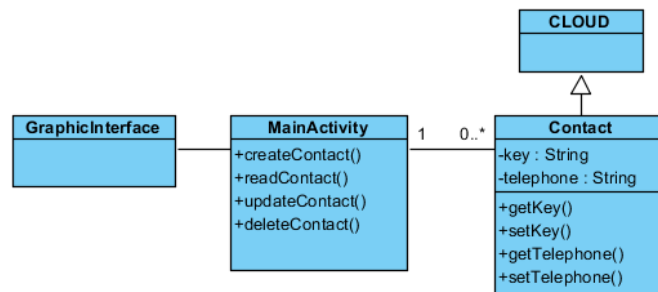


Figura 3. Diagrama de classes simplificado da aplicação Lista de Contatos

No pacote *Generator*, a classe *AndroidClass* realiza a geração de código nativo *Android* para as classes da aplicação. Para a versão *GenCodeCloud*, as classes *AndroidBluemixClass* e *AndroidGAECClass* foram criadas como derivadas de *AndroidClass* e sobreescrevem os principais métodos da superclasse visando implementar as classes da aplicação compatíveis com *Bluemix* e *Google App Engine*, respectivamente. Quando nenhuma plataforma de nuvem é selecionada pelo usuário, a classe *AndroidClass* padrão é utilizada, gerando código da mesma forma como feito na versão *GenCode* original.

Ainda no pacote *Generator*, a classe *AndroidMethod* é responsável pela geração de código para os métodos da aplicação. Para a versão *GenCodeCloud*, as classes *AndroidBluemixMethod* e *AndroidGAEMethod* foram criadas como derivadas da *AndroidMethod*, sobreescrevendo os seus principais métodos de forma a implementar os métodos da aplicação compatíveis com as plataformas *Bluemix* e *Google App Engine*, respectivamente. Objetos da classe *AndroidMethod* ou de suas subclasses são criados pela classe *AndroidClass* ou suas derivadas, dependendo do tipo de geração de código solicitada. No caso da geração de código para a plataforma *BlueMix*, por exemplo, a classe *AndroidBluemixClass* instancia objetos *AndroidBluemixMethod* para gerar métodos da aplicação.

5. Estudo de Caso

Para ilustrar o uso da abordagem padronizada para modelagem de aplicações CRUD proposta neste trabalho e o seu emprego para geração automática de código, uma aplicação *Android* chamada *Lista de Contatos* foi empregada como estudo de caso. Esta aplicação hospeda na nuvem uma lista de contatos com informações de nome e telefone; e permite

```

51     public void createContact(){
52         String key = "SET KEY";
53         String telephone = "SET TELEPHONE";
54         if (!key.equals("")) {
55             Contact contact = new Contact();
56             contact.setKey(key);
57             contact.setTelephone(telephone);
58             createContactCloud(contact);
59         }
60     }

```

Figura 4. Código independente de plataforma para a criação de um novo contato.

```

95 private void createContactCloud(Contact contact){
96     contact.save().continueWith(new Continuation<IBMDDataObject, Void>() {
97         @Override
98         public Void then(Task<IBMDDataObject> task) throws Exception {
99             if (task.isCancelled()){
100                 Log.e(CLASS_NAME,"Exception : Task "+task.toString()+" was cancelled.");
101             }
102             else if (task.isFaulted())
103                 Log.e(CLASS_NAME, "Exception : " + task.getError().getMessage());
104             else listContacts();
105             return null;
106         }
107     });
108 }

```

Figura 5. Código para *Bluemix* para armazenamento de um contato.

```

90     private void createContactCloud(Contact contact){
91         mFirebaseRef.child(contact.getKey()).setValue(contact);
92     }

```

Figura 6. Código para *Google App Engine* para armazenamento de um contato.

ao usuário visualizar, cadastrar, pesquisar, editar e excluir estes contatos.

A Figura 3 apresenta o diagrama de classes simplificado da aplicação Lista de Contatos construído seguindo a abordagem de modelagem proposta. Os objetos do tipo *Contact* serão hospedados na nuvem, pois foram indicados como subclasses de CLOUD e a classe *MainActivity* realizará as operações de criar, ler, atualizar e remover objetos do tipo *Contact* da infraestrutura de nuvem. Objetos do tipo *Contact* possuem o atributo *key* que será utilizado para armazenar o nome de cada contato e este será utilizado para referenciar o objeto nas buscas na infraestrutura de nuvem.

Usando como entrada o diagrama de classes da Figura 3, a ferramenta *GenCodeCloud* interpreta os elementos presentes neste modelo, identificando classes, métodos e atributos. Na sequência, caso selecionado o uso de alguma plataforma de nuvem, a ferramenta identifica os elementos que modelam a comunicação entre a aplicação e a plataforma de nuvem e realiza a implementação das operações CRUD, bem como, comandos de configuração e tratamento de exceção específicos para a plataforma selecionada.

Cada operação CRUD implementada é dividida em dois métodos distintos, o primeiro é independente de plataforma de nuvem e é responsável pela manipulação dos objetos antes da interação com a nuvem, o segundo é totalmente dependente de plataforma de nuvem e é responsável pela comunicação direta com a nuvem. A Figura 4 apresenta o método independente de plataforma *createContact* para a operação de criar um novo contato na nuvem para a aplicação Lista de Contatos. Neste método, os atributos do novo objeto *Contact* são inicializados nas linhas 52 e 53. Na sequência, o objeto é criado nati-

```

135 public void listContacts() {
136     try {
137         IBMQuery<Contact> query = IBMQuery.queryForClass(Contact.class);
138         query.find().continueWith(new Continuation<ArrayList<Contact>, Void>() {
139             @Override
140             public void then(Task<List<Contact>> task) throws Exception {
141                 final ArrayList<Contact> objects = task.getResult();
142                 if (task.isCancelled())
143                     Log.e(CLASS_NAME, "Exception:Task "+task.toString()+" was cancelled.");
144                 else if (task.isFaulted())
145                     Log.e(CLASS_NAME, "Exception : " + task.getError().getMessage());
146                 else {
147                     contactList.clear();
148                     for(IBMDataObject contact:objects)contactList.add((Contact) contact);
149                 }
150                 return null;
151             }
152         },Task.UI_THREAD_EXECUTOR);
153     } catch (IBMDataException error) {
154         Log.e(CLASS_NAME, "Exception : " + error.getMessage());
155     }
156 }

```

Figura 7. Código para *Bluemix* para busca de modificações de dados na nuvem.

```

29 mFirebaseRef.addChildEventListener(new ChildEventListener() {
30     public void onChildAdded(DataSnapshot snapshot, String previousChildKey) {
31         Contact newContact = snapshot.getValue(Contact.class);
32         contactList.add(newContact);
33     }
34     public void onChildRemoved(DataSnapshot snapshot) {
35         Contact contactRemoved = (Contact) snapshot.getValue();
36         for(Contact contact : contactList){
37             if(contact.getKey().equals(contactRemoved.getKey()))
38                 contactList.remove(contact);
39         }
40 });

```

Figura 8. Código para *Google App Engine* busca de modificações de dados na nuvem.

vamente e é invocado o método *createContactCloud*, na linha 58, para o armazenamento deste novo objeto na nuvem. A implementação deste método é dependente de plataforma.

Quando selecionada a plataforma *Bluemix*, o método *createContact* invoca a implementação do método *createContactCloud* ilustrada na Figura 5, específica para a referida plataforma. Na operação de criar um novo contato na nuvem, o comando *save*, localizado na linha 96 do trecho de código da Figura 5, é responsável por esta operação. Após a invocação do *save*, são empregados comandos para tratamento de exceções no trecho entre as linhas 98 e 107.

Quando selecionada a plataforma *Google App Engine*, o método *createContact* invoca a implementação do método *createContactCloud* ilustrada na Figura 6. No comando da linha 91 deste método, o novo objeto do tipo *Contact* é hospedado na nuvem empregando o serviço *Firebase*. O novo objeto contato é armazenado em um novo diretório, o qual terá o atributo *key* do objeto como chave de acesso.

Para a aplicação Lista de Contatos, a ferramenta *GenCodeCloud*, além de implementar as operações CRUD, também adiciona um atributo do tipo *ArrayList* chamado *ContactList* à classe *MainActivity*, por esta ser a classe responsável pela manipulação dos objetos do tipo *Contact* na nuvem. Este atributo é responsável pelo armazenamento local - e temporário - da lista de contatos. Os comandos de atualização desta lista também são gerados automaticamente pela ferramenta.

A Figura 7 apresenta o método *listContacts* responsável por preencher o *ArrayList contactList* com a lista de contatos mais recente hospedada na nuvem quando selecionada a plataforma *Bluemix*. No comando da linha 141, os objetos hospedados em nuvem são copiados para a memória local do dispositivo e adicionados para a *listContacts* na linha 148. O método *listContacts* é invocado na inicialização da aplicação e, também, após cada operação CRUD, de modo a manter a lista local de contatos atualizada.

A Figura 8 apresenta a implementação do método *listContacts* quando selecionada a plataforma *Google App Engine*. Diferentemente da implementação para a *Bluemix*, a implementação para a plataforma da *Google* emprega um conjunto de *listeners*, invocados automaticamente toda vez que há alguma alteração nos dados presentes na nuvem. Estes *listeners* são implementados no método *onCreate* ou método construtor da classe responsável pelas operações CRUD. O *listener* ilustrado na linha 30 adiciona novos contatos hospedados na nuvem e o *listener* da linha 34 remove objetos da lista de contato local quando estes forem removidos da infraestrutura de nuvem.

A partir, unicamente, do diagrama de classes da Figura 3, a *GenCodeCloud* faz a geração de 150 linhas para a classe *MainActivity* quando selecionada a plataforma *Bluemix* e 92 linhas quando a *Google App Engine* é empregada. Na classe *Contact* são geradas 33 linhas para *Google App Engine* e 34 para a plataforma *Bluemix*. Por não possuir interação direta com a infraestrutura de nuvem, a geração da classe *GraficInterface* é feita da mesma forma como realizada na versão *GenCode* original, gerando 6 linhas de código, independentes da plataforma de nuvem empregada.

Vale destacar que quando, juntamente ao diagrama de classes, são empregados diagramas de sequência no modelo de entrada, a ferramenta *GenCodeCloud* é capaz de interpretar a modelagem comportamental da aplicação e ampliar a sua geração de código. Dessa forma, por exemplo, a ferramenta pode gerar também trechos de código onde os métodos responsáveis pelas operações CRUD independentes de plataforma são invocados por outros métodos presentes em outras classes da aplicação.

6. Conclusão

Este trabalho propôs uma abordagem para modelagem e geração automática de código para aplicações móveis centradas em dados armazenados em infraestruturas de nuvem. Nossa abordagem de modelagem suporta a abstração da interação do aplicativo com a nuvem, através de regras que servem de padronização.

O objetivo é suportar a geração de código para diferentes plataformas de nuvem a partir de um mesmo modelo de alto nível, e assim simplificar tanto o desenvolvimento de aplicativos quanto a migração entre plataformas. A geração de código proposta também é discutida em detalhes neste artigo, bem como discute-se a implementação deste suporte em uma ferramenta de geração de código *Android* a partir de modelos UML. Esta implementação é realizada através da extensão da ferramenta *GenCode*, criando assim a *GenCodeCloud*. Através de um estudo de caso foi demonstrado o emprego da abordagem proposta e são discutidas linhas de código geradas automaticamente pela *GenCodeCloud*. As linhas de código geradas incluem suporte às operações CRUD nas plataformas *Google App Engine* e *Bluemix*.

Como trabalhos futuros, novos e mais complexos estudos de caso serão realizados,

incluindo validações dos códigos gerados pela ferramenta. Além disso, o suporte a outras plataformas de nuvem está previsto como trabalho futuro.

Referências

- Agrawal, N., Aranya, A., and Ungureanu, C. (2013). Mobile data sync in a blink. In *Presented as part of the 5th USENIX Workshop on Hot Topics in Storage and File Systems*, San Jose, CA. USENIX.
- Chun, B.-G., Curino, C., Sears, R., Shraer, A., Madden, S., and Ramakrishnan, R. (2012). Mobius: Unified messaging and data serving for mobile apps. In *Proceedings of the 10th International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services, MobiSys '12*, pages 141–154, New York, NY, USA. ACM.
- CISCO (2016). Cisco visual networking index: Global mobile data traffic forecast update, 2015-2020 white paper. <http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/mobile-white-paper-c11-520862.html>.
- Dinh, H. T., Lee, C., Niyato, D., and Wang, P. (2013). A survey of mobile cloud computing: architecture, applications and approaches. *Wireless communications and mobile computing*, 13(18):1587–1611.
- Gonidis, F., Simons, A. J. H., Paraskakis, I., and Kourtesis, D. (2013). Cloud application portability: An initial view. In *Proceedings of the 6th Balkan Conference in Informatics, BCI '13*, pages 275–282, New York, NY, USA. ACM.
- Papotti, P. (2013). Um processo dirigido a modelos para geração de código. In *Dissertação de Pós-Graduação em Ciência da Computação – PPGCC*. UFSCar.
- Parada, A., Marques, M., and de Brolara, L. B. (2015). Automating mobile application development: Uml-based code generation for android and windows phone. *Revista de Informática Teórica e Aplicada*, 22(2):31–50.
- Parada, A., Tonini, A., and Brolara, L. (2013). Geração automática de código android eficiente a partir de modelos uml. In *Proceedings of the 16th Conferencia Iberoamericana en Software Engineering, CIbSE '13*, pages 71–84.
- Ranabahu, A. H., Maximilien, E. M., Sheth, A. P., and Thirunarayan, K. (2011). A domain specific language for enterprise grade cloud-mobile hybrid applications. In *Proceedings of the Compilation of the Co-located Workshops on DSM'11, TMC'11, AGERE! 2011, AOOPEs'11, NEAT'11, & VMIL'11, SPLASH '11 Workshops*, pages 77–84, New York, NY, USA. ACM.
- Ribeiro, A., da Silva, A. R., et al. (2014). Evaluation of xis-mobile, a domain specific language for mobile application development. *Journal of Software Engineering and Applications*, 7(11):906–919.
- Xanthopoulos, S. and Xinogalos, S. (2013). A comparative analysis of cross-platform development approaches for mobile applications. In *Proceedings of the 6th Balkan Conference in Informatics, BCI '13*, pages 213–220, New York, NY, USA. ACM.

Gerência de QoC: Uma Abordagem Direcionada ao Tratamento de Conflitos de Contexto*

Lucas M. S. Xavier¹, Adenauer C. Yamin¹, Ana M. Pernas¹, Gerson G. H. Cavalheiro¹

¹Centro de Desenvolvimento Tecnológico – Universidade Federal de Pelotas (UFPel)
Rua Gomes Carneiro, 1 – 96.010-610 – Pelotas – RS – Brasil

{lmdsxavier, adenauer, marilza, gerson.cavalheiro}@inf.ufpel.edu.br

Abstract. *In context-aware systems, imprecise, ambiguous and erroneous information frequently arises from the many imperfections that naturally occur in the context acquisition and distribution processes. The negative impacts of such imperfections may be diminished through adequate modelling and management of Quality of Context (QoC) indicators, which are assessed from specific context metadata. This paper proposes a QoC management framework which deals with QoC metadata in an IoT middleware and uses the resulting indicators to reduce the quantity of conflicts caused by contradictory context information. A case study is presented in which the framework was used to provide QoC awareness to an ubiquitous application managed by the EXEHDA middleware.*

Resumo. *Nos sistemas cientes de contexto, os processos de aquisição e distribuição de informações estão inerentemente sujeitos a imperfeições que levam à produção de dados contextuais imprecisos, ambíguos e/ou errôneos. Tais imperfeições podem ter seus impactos minorados por meio da modelagem e da gerência de indicadores de Qualidade de Contexto (QoC), obtidos a partir de metadados contextuais. A proposta deste trabalho é a concepção de um arcabouço para manipulação de metadados de QoC em um middleware para IoT, com aplicação imediata na redução dos conflitos causados por dados contextuais contraditórios. Em um estudo de caso, emprega-se a solução desenvolvida para prover ciência de QoC a um ambiente ubíquo gerenciado pelo EXEHDA.*

1. Introdução

Sistemas cientes de contexto são capazes de caracterizar a situação de pessoas, lugares, objetos físicos e/ou dispositivos computacionais, empregando tais informações para suporte às aplicações reativas e adaptativas [Yürür et al. 2016]. Esses sistemas encontraram ampla aplicabilidade na computação ubíqua e na IoT, permitindo o enfrentamento de desafios referentes a aspectos como escalabilidade e abstração. Uma plataforma para ciência de contexto deve, entretanto, considerar a possibilidade de que as informações providas por suas fontes de contexto possam ser ambíguas, imprecisas, desatualizadas e/ou errôneas.

Em resposta à necessidade de tratar estas imperfeições, um número crescente de plataformas vêm adotando mecanismos de gerência de Qualidade de Contexto (em inglês, *Quality of Context* ou QoC) [Nazário et al. 2012]. Essas soluções expõem indicadores que sinalizam o grau de imperfeição associado a cada contexto.

*O presente trabalho foi realizado com apoio do Programa Nacional de Cooperação Acadêmica da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES/Brasil.

Assim, este trabalho tem como objetivo central a concepção de um arcabouço para gerência de indicadores de qualidade de contexto, compreendendo: (i) uma proposição de modelos para representação e manipulação das entidades de QoC, baseados em uma generalização dos trabalhos relacionados; e (ii) um conjunto de interfaces para exposição das variáveis de QoC para as aplicações. Adicionalmente, o trabalho visa avaliar a exploração do emprego de indicadores de QoC na sistematização de políticas para redução nos conflitos entre dados contextuais. Em função disso, além dos mecanismos básicos para tratamento de QoC, foi concebida uma estratégia para implementação de políticas baseadas em qualidade, visando a uma redução no número de potenciais conflitos de contexto.

As soluções projetadas foram materializadas como uma extensão das funcionalidades de manipulação de contexto do *middleware* EXEHDA [Lopes et al. 2014]. A implementação foi aplicada em um estudo de caso, no qual as ferramentas propostas foram avaliadas em um cenário que representa um ambiente ubíquo típico.

2. Qualidade de Contexto e Conflitos de Contexto

A definição de qualidade de contexto abrange toda informação que pode caracterizar a adequação de um dado a uma aplicação específica [Krause and Hochstatter 2005]. A título de exemplo, em sistemas cientes de contexto, essas informações frequentemente incluem metadados como: a atualidade do dado; sua precisão; sua importância; e o custo de sua obtenção. A qualidade de contexto distingue-se da Qualidade de Serviço (QoS) porque é intrínseca à informação em si, e não ao serviço que a produziu.

Os metadados de QoC podem, ainda, ser divididos em dois níveis de abstração [Bringel Filho and Agoulmine 2011]. Parâmetros de QoC são informações contextuais diretamente sensorizadas, que podem ser empregadas para extrair indicadores de qualidade. Indicadores de QoC são métricas de qualidade, derivadas dos parâmetros de QoC, que permitem estimar a adequação de um contexto com respeito a um aspecto definido. Como exemplo, o instante de produção de um dado é um parâmetro de QoC; e a atualidade desse dado é um indicador de QoC (derivado de dados como o tempo de vida esperado para a informação e o instante atual). Na literatura da área, os trabalhos existentes propõem listas distintas de indicadores, não havendo consenso quanto a um conjunto básico de aspectos de qualidade que devam ser gerenciados [Nazário et al. 2012].

A representação dos parâmetros e indicadores segue, em geral, a modelagem de contexto utilizada pelo *middleware* para o qual os arcabouços de QoC são concebidos. Dessa forma, são empregados modelos lógicos [Neisse et al. 2014], baseados em ontologia [Bringel Filho and Agoulmine 2011], em linguagens de marcação [Marie et al. 2015] ou em pares chave-valor, assim como para as demais informações contextuais.

Situações de conflito ocorrem em diversas camadas nos sistemas cientes de contexto [Manzoor et al. 2009]. Na camada de aquisição, há a necessidade de integrar os dados de sensores com características distintas de frequência de coleta, precisão e formato de representação. Na camada de processamento, mecanismos de inferência podem chegar a conclusões divergentes dependendo da maior ou menor confiabilidade da fonte de informações escolhida. Na camada de distribuição, a mobilidade dos sensores, o perfil operacional das redes sem fio e a natureza concorrente das aplicações ubíquas resultam em dados redundantes e/ou conflitantes, desperdiçando recursos de rede e processamento. A modelagem e o tratamento desses conflitos pode resultar na mitigação desses problemas.

Diversas técnicas são utilizadas para redução ou resolução de conflitos de contexto. Entre os métodos bem-sucedidos está o uso de indicadores de QoC para arbitrar a situação de conflito em favor da informação de maior qualidade. No trabalho de Manzoor et al. (2009), políticas baseadas em QoC são usadas para resolução de conflitos. Em Bringel Filho e Agoulmine (2011), parâmetros de QoC como *trustworthiness* e *probability of correctness* são integrados aos mecanismos de fusão de informações contextuais. Em Al-Shargabi e Siewe (2013), o histórico de contexto é usado para inferir parâmetros de QoC que alimentam um mecanismo de aprendizado baseado em regras de associação.

3. Trabalhos Relacionados

O OpenCOPI é um *middleware* orientado a serviços que age como integrador de plataformas coexistentes em um ambiente ubíquo [Lopes et al. 2013]. Possui uma arquitetura centralizada, com disseminação de informações no modelo *publish-subscribe*; e emprega ontologias para representação de contexto, bem como de indicadores de QoC e QoS. No OpenCOPI, as capacidades de gerência de QoC são utilizadas para alimentar as decisões internas de composição de serviços; o *middleware* determina dinamicamente o conjunto de serviços mais adequado para compor uma informação ou serviço para a aplicação final, baseando-se em dados de QoC e de custo computacional.

O projeto MobileHealthNet visa ao desenvolvimento de plataformas para redes sociais móveis e colaborativas, voltadas para a área da medicina ubíqua [Pinheiro 2014]. Sua infraestrutura para tratamento de contexto (o MHNCS) adota um modelo de disseminação baseado no padrão *publish-subscribe* e uma arquitetura distribuída. A representação do contexto é orientada a objetos, com utilização de documentos XML para troca ou persistência dos dados contextuais. O *middleware* expõe as interfaces de QoC para as aplicações, permitindo a solicitação de níveis mínimos ou máximos para os indicadores de qualidade, bem como a implantação de regras de processamento baseadas em QoC para disparo de eventos ou filtragem de contexto.

O *framework* MUCONTEXT faz parte do projeto INCOME, implementando modelos e ferramentas para gerência de privacidade e de QoC no contexto mais amplo de provisão de contexto para IoT [Marie et al. 2015]. O arcabouço adota uma arquitetura distribuída, com disseminação no padrão *publish-subscribe*. A modelagem de contexto é baseada no meta-modelo QoCIM e prioriza modelos gráficos, baseados em EMF e UML. Para transmissão e persistência dos dados contextuais, são empregados documentos XML. A gerência de QoC do MUCONTEXT estabelece contratos (representados em XML) com as aplicações, expressando garantias, requisitos, capacidades e limitações quanto aos indicadores de qualidade. Para proteção da privacidade dos usuários, serviços não-críticos podem receber dados com qualidade explicitamente reduzida para impedir a utilização indesejada. Os indicadores de QoC podem ser usados também para filtragem de contexto.

Com relação ao uso de QoC para resolução de conflitos de contexto, as principais técnicas adotadas na literatura [Manzoor et al. 2009, Bringel Filho and Agoulmine 2011, Al-Shargabi and Siewe 2013] estão contempladas na Seção 2.

4. EXEHDA-QoC: Concepção e Integração ao *middleware* EXEHDA

O EXEHDA é um *middleware* para aplicações ubíquas distribuídas, móveis e cientes de contexto. Sua organização é baseada em serviços dinamicamente carregados conforme a

demanda. Seu subsistema de tratamento de contexto possui uma arquitetura em dois níveis: uma camada central que interage com as aplicações (Servidor de Contexto) e uma camada periférica que interopera com sensores e atuadores (Servidor de Borda) [Lopes et al. 2014].

O modelo de qualidade de contexto concebido neste trabalho visa à integração com o *middleware* EXEHDA e se baseia parcialmente nas premissas do trabalho de Bringel Filho e Agoulmine (2011). Considera-se que as especificidades dos processos relacionados a uma publicação podem ser caracterizadas por metadados que são chamados de *parâmetros de QoC*. Um *indicador de QoC* é uma avaliação, baseada em parâmetros de QoC e representada por um número de 0 a 1, a respeito de uma característica específica de uma publicação que influencia na qualidade final dos dados. Admite-se que um indicador pode ser avaliado de várias formas, dependendo dos parâmetros disponíveis, por meio de diferentes *métodos de cálculo*.

A avaliação final de QoC é resultado de uma agregação realizada sobre os diversos indicadores. A maioria das plataformas emprega, para isso, uma média aritmética ponderada, em que as aplicações atribuem pesos aos diversos indicadores. O modelo do EXEHDA-QoC generaliza esse aspecto ao permitir que diversos *agregadores* sejam usados para produzir o valor final de QoC; assim, múltiplos esquemas de avaliação, baseados em diversas funções utilidade, são disponibilizados simultaneamente às aplicações.

Finalmente, um *avaliador de QoC* é um conjunto formado por um algoritmo e uma série de métodos de cálculo para diferentes indicadores. O avaliador determina unicamente qual o algoritmo utilizado, quais indicadores estão disponíveis e qual o método de cálculo utilizado para avaliar cada indicador. O modelo de contexto considerado prevê que os conjuntos de indicadores, parâmetros, algoritmos, métodos de cálculo e avaliadores não são fixos. Dessa forma, está contemplada a possibilidade de extensão das funcionalidades do framework por meio da inclusão de novos métodos ou indicadores.

No modelo exposto, a avaliação de QoC de uma publicação p (opcionalmente condicionada a um contexto de interesse t e a uma aplicação a) procede da seguinte forma:

1. Usa-se o avaliador vigente para determinar os indicadores $i_1 \dots i_n$ que serão considerados e métodos $m_{i_1} \dots m_{i_n}$ que serão empregados para avaliar esses indicadores.
2. Determinam-se os valores $\mu_1 \dots \mu_n$, que representam as avaliações dos indicadores de QoC para a publicação p considerada. Tais valores são dados por $\mu_k = m_{i_k}(p, a, t)$ para $i_k \in (i_1 \dots i_n)$.
3. Os valores de $\mu_1 \dots \mu_n$ e os pesos $w_1 \dots w_n$ são passados como parâmetro para o agregador f_n (determinado pelo avaliador). O valor final de QoC é dado por $QoC_v(p, a, t, (w_1 \dots w_n)) = f_n((\mu_1, w_1) \dots (\mu_n, w_n))$.

A visão de qualidade de contexto considerada foi consolidada na forma de uma biblioteca orientada a objetos e integrada ao modelo de contexto original do *middleware* EXEHDA. O diagrama de classes do modelo resultante é mostrado na Figura 1.

Como exemplo de aplicação dos arcabouços de QoC no aprimoramento das funcionalidades gerais do *middleware*, foi concebida uma abordagem baseada no trabalho de Manzoor et al. (2009) para redução de conflitos de contexto no EXEHDA. A estratégia tem como premissa o uso de políticas baseadas em indicadores de QoC para eliminar informações com alto potencial de conflito. Tais políticas são implementadas por uma série de filtros que atuam em pontos estratégicos da arquitetura do Servidor de Contexto.

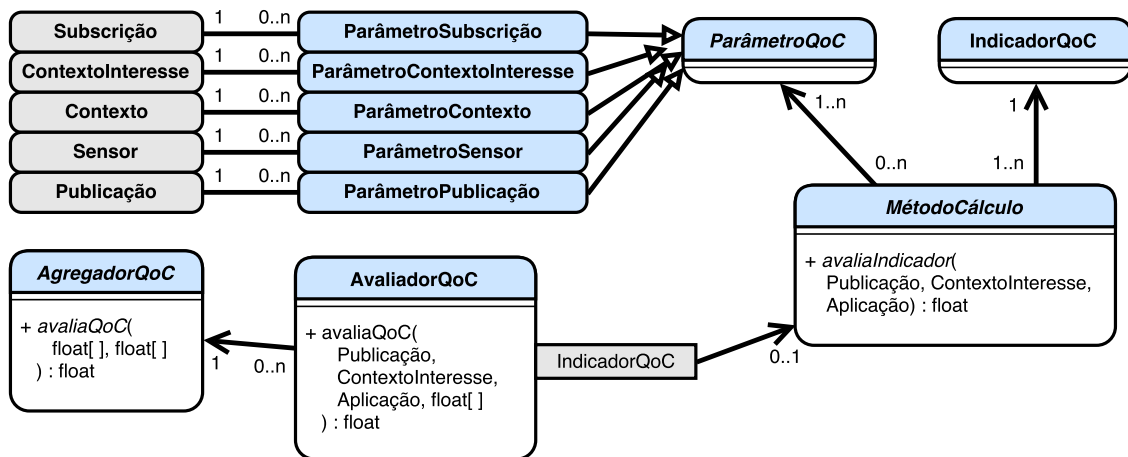


Figura 1. Diagrama de classes do modelo de QoC integrado ao modelo de contexto do EXEHDA

Especificamente, uma política de QoC é uma tupla $\pi = (v, \lambda, (w_1 \dots w_n))$ em que v é um avaliador, $w_1 \dots w_n$ é um conjunto de pesos e λ é um valor limiar mínimo de QoC. Uma publicação p (no escopo de um contexto de interesse t e de uma aplicação a) é aceita pela política π se $QoC_v(p, a, t, (w_1 \dots w_n)) \geq \lambda$; caso contrário, ela é rejeitada. Define-se Π como o conjunto de todas as políticas.

Um repositório de políticas $\pi^*(a, e, pr)$ é uma função que discrimina políticas específicas com base em uma aplicação a e em um escopo e (que é um sensor ou contexto de interesse). É previsto, ainda, o uso de políticas de aplicabilidade geral, que influenciam a todos os contextos de interesse e /ou a todas as aplicações. Nesse caso, emprega-se a notação $\pi^*(a, \phi, pr)$ e/ou $\pi^*(\phi, e, pr)$ e a política é compartilhada por todos os escopos ou aplicações finais. A prioridade pr , que pode ser alta (1) ou baixa (0), indica se essas políticas gerais devem ser substituídas ou aplicadas de forma concomitante às demais políticas mais específicas. Assim, π^* toma a forma $\pi^* : (A \cup \phi) \times (S \cup T \cup \phi) \times \{0, 1\} \rightarrow \Pi$.

Para avaliar se uma publicação p (destinada a uma aplicação a e com escopo delimitado por e) é aceita por um repositório de políticas, forma-se um conjunto julgamento $CJ_{a,e} \subset \Pi$. O conjunto $CJ_{a,e}$ é composto por todas as políticas de π^* que são aplicáveis considerando a e e . Se a publicação em questão é aceita por todas as políticas de $CJ_{a,e}$, a publicação é aceita pelo repositório como um todo; caso contrário, ela é rejeitada. O conjunto julgamento é construído da seguinte forma:

1. se existirem as políticas prioritárias $\pi^*(a, e, 1)$, $\pi^*(\phi, e, 1)$, $\pi^*(a, \phi, 1)$ e $\pi^*(\phi, \phi, 1)$, elas sempre fazem parte de $CJ_{a,e}$;
2. se não existe a política mais específica $\pi^*(a, \phi, 1)$ e existe a política mais geral (de baixa prioridade) $\pi^*(\phi, \phi, 0)$, então $\pi^*(\phi, \phi, 0)$ faz parte de $CJ_{a,e}$;
3. se não existe $\pi^*(a, e, 1)$ e existe $\pi^*(\phi, e, 0)$, então $\pi^*(\phi, e, 0)$ faz parte de $CJ_{a,e}$.

Para aplicação, no *middleware*, do modelo de políticas proposto, foram implantados três repositórios de políticas no Servidor de Contexto. O repositório de políticas de aquisição (π_{aq}^*) é usado para determinar se uma nova publicação possui QoC suficiente para ser persistida no histórico de contextos do EXEHDA. Se a publicação é rejeitada pelo repositório, o dado é descartado sem armazenamento.

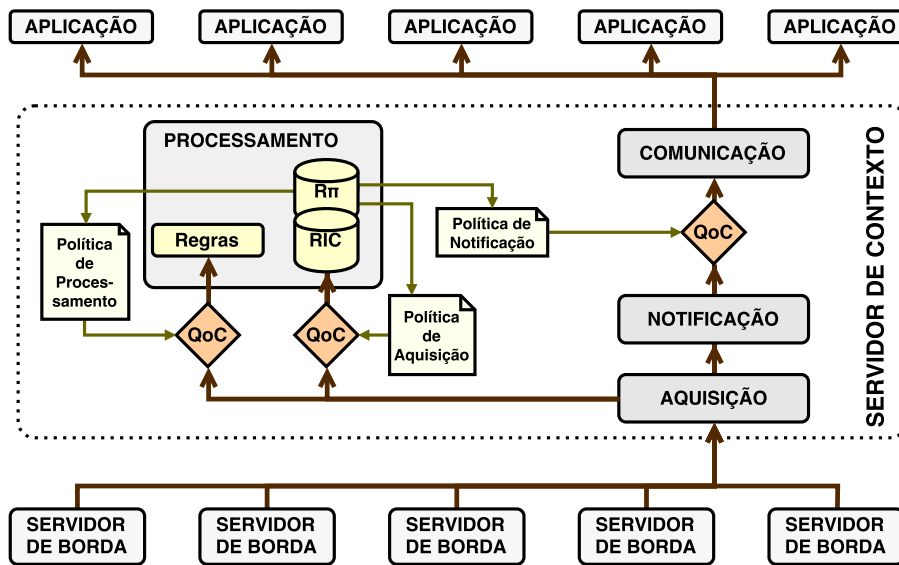


Figura 2. Diagrama indicando a integração dos repositórios de políticas à arquitetura do Servidor de Contexto (SC) do EXEHDA

O repositório de políticas de processamento (π_{proc}^*) é usado para disparo condicional do motor de regras do *middleware*. A rejeição de um contexto implica na suspensão do disparo das regras e rotinas associadas ao seu processamento. Por fim, o repositório de políticas de notificação (π_{not}^*) é empregado para ajustar os valores mínimos de qualidade associados às subscrições realizadas pelas aplicações ubíquas servidas pelo EXEHDA.

Os três repositórios descritos e sua integração à arquitetura do Servidor de Contexto estão delineados na Figura 2. A arquitetura original do *middleware* pode ser obtida em [Lopes et al. 2014]. O diagrama de classes do modelo usado para materializar as políticas de QoC está indicado na Figura 3.

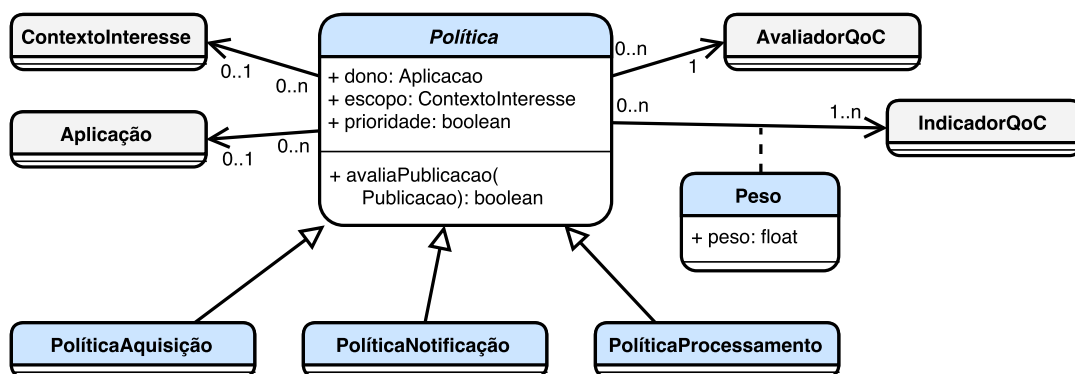


Figura 3. Diagrama de classes do modelo de políticas integrado ao modelo de QoC do EXEHDA

A solução de gerência de QoC proposta prevê que parte da funcionalidade deve ser flexibilizada para atender às especificidades de cada ambiente ubíquo, o que se traduz na possibilidade de incluir novos indicadores, funções de agregação e métodos de cálculo. Apesar disso, é necessário que todo Servidor de Contexto ofereça um conjunto padronizado de funcionalidades básicas, permitindo algum nível de interoperação entre diferentes

Tabela 1. Funções de agregação padrão do EXEHDA-QoC

Agregador	f_{linear}	$f_{mínimo}$	$f_{geométrica}$	$f_{harmônica}$	f_{CES}
$f(\mu_k, w_k) = \dots$	$\sum(\widehat{w}_k \mu_k)$	$\min(\mu_k)$	$\prod \mu_k^{\widehat{w}_k}$	$\left(\sum \frac{\widehat{w}_k}{\mu_k}\right)^{-1}$	$\left[\widehat{w}_k \mu_k^\rho\right]^{\kappa/\rho}$

células ubíquas. Assim, foi definido um conjunto padrão de funcionalidades, obrigatoriamente implementadas, que representam indicadores e formulações comumente encontrados na literatura da área. De forma mais específica, o conjunto padrão compreende:

- **Um conjunto padrão de indicadores de QoC.** A *atualidade* assinala a magnitude do intervalo de tempo transcorrido entre a coleta e o consumo de um dado contextual, diminuindo conforme a informação se torna obsoleta. A *precisão* está associada à magnitude dos erros aleatórios que se manifestam nos processos de aquisição, processamento e distribuição. A *importância* é definida para cada aplicação e é um indicador arbitrário, usado para discriminar dados críticos.
- **Um conjunto padrão de métodos de cálculo,** que inclui um método para cada indicador do conjunto padrão.
- **Um conjunto padrão de funções de agregação.** Em geral, as soluções de QoC existentes empregam uma média aritmética ponderada entre os indicadores. O EXEHDA-QoC flexibiliza os agregadores, permitindo a implementação de funções utilidade diversas. As funções de agregação padrão estão sumarizadas na Tabela 1. Nelas, os valores de \widehat{w}_k representam pesos *normalizados*, proporcionalizados para a soma de todos os pesos seja igual a 1. Nota-se que o agregador f_{CES} é parametrizado por dois valores adicionais (ρ e κ), que controlam o grau de homogeneidade e a elasticidade da função. Além das funções indicadas na Tabela 1, é fornecido um agregador f_{limiar} que retorna 1 se $\forall k(\mu_k \geq w_k)$ e 0 caso contrário.
- **Dois avaliadores padrão,** que empregam as funções de agregação baseadas em limiar (v_{limiar}) e em média aritmética (v_{linear}). Os avaliadores padrão usam os três indicadores e os métodos de cálculo padrão mencionados.

Para transferência de políticas e de informações de QoC entre os componentes do EXEHDA e entre aplicações, as APIs do Servidor de Contexto foram estendidas. Foram definidos dois formatos, baseados em JSON e especificados empregando o padrão JSON Schema, para representar: (i) requisitos e informações gerais de QoC; e (ii) políticas de QoC. Finalmente, para operacionalizar o emprego do arcabouço de QoC desenvolvido, as interfaces gráficas de gerência e configuração do *middleware* foram ampliadas com funcionalidades para cadastro, atualização e visualização das novas entidades definidas.

5. Estudo de Caso

Foi desenvolvido um estudo de caso visando à demonstração das funcionalidades do EXEHDA-QoC em um cenário representativo de um ambiente ubíquo real. O estudo foi baseado na simulação de uma célula ubíqua com agentes, dispositivos e aplicações móveis produzindo e/ou consumindo informações contextuais com características de QoC diversas. O cenário do estudo de caso é baseado no trabalho de Li et al. (2014), no qual sensores tipicamente encontrados em *smartphones* são usados para determinar se um usuário está em um ambiente interno ou externo. Especificamente, são usados os sensores de iluminação, magnetismo e a intensidade de sinal da rede de telefonia celular.

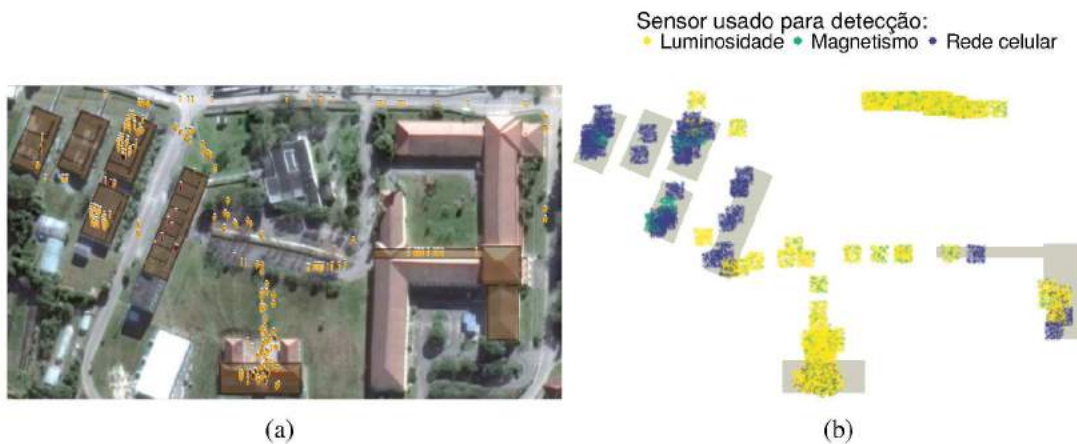


Figura 4. (a) Imagem do ambiente simulado. (b) Sensores empregados para detecção de ambiente interno/externo, de acordo com a localização dos agentes. As áreas em cinza são ambientes internos.

A iluminação é empregada porque a luz solar é significativamente mais intensa que a artificial; entretanto, o sensor pode ser bloqueado pelo usuário a maior parte do tempo. A intensidade do sinal da rede de telefonia móvel apresenta variações abruptas quando o usuário deixa ou ingressa em construções; contudo, está sujeita a efeitos de linha de visão da antena e de propagação do sinal. A intensidade do campo magnético é aproximadamente constante em áreas externas e amplamente variável perto de construções; por isso, permite detectar ambientes externos, mas é insuficiente para diferenciar ambientes internos de suas proximidades. O uso concomitante dos três sensores atenua problemas relacionados à disponibilidade ou à acurácia de um dos tipos de detecção.

O ambiente simulado (Figura 4(a)) considera o seguinte cenário de uso: em um *campus* universitário, os estudantes e professores (referenciados como agentes) utilizam uma aplicação móvel que seleciona conteúdo dinamicamente de acordo com a localização (interna ou externa) do usuário. Os celulares dos agentes enviam as medições dos sensores periodicamente para o EXEHDA. Um indicador de QoC (*confiabilidade*) é atribuído pelo Servidor de Borda de acordo com a acurácia e a disponibilidade previstas para os sensores. Políticas de QoC são usadas na camada de aquisição do Servidor de Contexto para descartar dados potencialmente conflituosos, de acordo com a *confiabilidade*. A aplicação móvel solicita dados de contexto periodicamente, buscando estimativas para determinar se o usuário está em ambiente interno ou externo. Na requisição, são usadas a *confiabilidade* e a *atualidade* para priorizar os dados, baseando a detecção em um ou outro sensor.

O cenário foi simulado com o auxílio da ferramenta Siafu [Martin and Nurmi 2006], sendo utilizada uma planta com sete prédios representando salas de aula e de professores, um auditório, uma cantina e uma parada de ônibus. A simulação representou um dia de atividades, ao longo do qual cerca de 500 agentes se alternaram em atividades acadêmicas e de lazer, circulando entre os prédios. A cada vinte segundos os agentes enviaram informações de contexto para o EXEHDA; nesse instante, a aplicação móvel solicita dados de localização ao *middleware* (em 6,6% dos envios).

Os dados enviados do Servidor de Borda para o Servidor de Contexto são valores entre 0 e 1 que indicam a probabilidade de o agente estar em um ambiente interno, de

Tabela 2. Matriz de confusão para o resultado das solicitações de previsão realizadas pelos agentes.

		Previsto		Total
		Interno	Externo	
Real	Interno	9692	983	10675
	Externo	6	23229	23235
	Total	9698	24212	33910

acordo com as informações de apenas um dos sensores. As políticas de aquisição do Servidor de Contexto rejeitam informações com *confiabilidade* inferior a 0,5, correspondentes a sensores bloqueados ou em condições de coleta inadequadas. Na solicitação das informações, a aplicação móvel demanda o uso do avaliador linear padrão para maximizar o valor de QoC usando pesos de 0,5 para *atualidade* e *confiabilidade*.

O ambiente experimental empregou duas máquinas virtuais: uma para execução do Servidor de Borda e do Sifafu, e a outra para execução do Servidor de Contexto. Ao longo da simulação, que durou doze horas, os agentes produziram aproximadamente quinhentas mil publicações e solicitaram informações contextuais 33910 vezes.

A Figura 4(b) mostra a influência das políticas de aquisição na seleção da fonte contextual mais adequada. No gráfico, estão reproduzidas as localizações das solicitações realizadas pelos agentes, coloridas de acordo com o sensor que foi usado para a detecção (foi adicionado um pequeno deslocamento aleatório aos pontos para permitir a visualização). É possível verificar que, nas áreas externas, a detecção priorizou os sensores de iluminação e magnetismo, enquanto nos ambientes internos o sinal da rede de telefonia móvel foi usado com mais frequência. Assim, os sensores foram empregados predominantemente em ambientes que representam circunstâncias de aquisição favoráveis à sua acurácia.

Além dos impactos na aquisição do contexto, o arcabouço de gerência permitiu a seleção das informações mais apropriadas dentre as disponíveis no repositório de informações contextuais. No caso da aplicação simulada, os requisitos de QoC adotados objetivaram à manutenção de um nível elevado de acurácia para a detecção de ambiente interno. A Tabela 2 aponta a quantidade de previsões corretas e incorretas realizadas pelos mecanismos de provisão de contexto do EXEHDA-QoC.

6. Conclusão e Trabalhos Futuros

Neste trabalho, foram propostos mecanismos para gerência de dados de QoC em plataformas para computação ubíqua. Além da exploração das estratégias básicas para manipulação de QoC presentes na literatura, produziu-se, como contribuição, a concepção de um arcabouço que emprega os indicadores de qualidade para mitigar os impactos negativos causados por informações conflitantes. Os modelos propostos foram materializados por meio de sua implementação e de sua integração à arquitetura do *middleware* EXEHDA, sendo aplicados ao seu subsistema de tratamento de contexto. As funcionalidades do EXEHDA-QoC foram exploradas em um cenário de aplicação, representativo de um subconjunto dos sistemas em funcionamento em um ambiente ubíquo típico.

Entre as frentes de estudo prioritárias para sequência do trabalho, pode-se destacar a introdução de uma representação semântica para os dados de QoC, fazendo uso das

capacidades de modelagem híbrida de contexto do *middleware* EXEHDA. Ainda, pontua-se a integração das funcionalidades de QoC à arquitetura dos Servidores de Borda, permitindo a avaliação de qualidade nos componentes mais próximos da aquisição e da atuação.

Referências

- Al-Shargabi, A. A. and Siewe, F. (2013). Resolving context conflicts using association rules (RCCAR) to improve quality of context-aware systems. In *Computer Science Education, 2013 8th International Conference on*, pages 1450–1455, Colombo. IEEE.
- Bringel Filho, J. and Agoulmine, N. (2011). A quality-aware approach for resolving context conflicts in context-aware systems. In *Embedded and Ubiquitous Computing (EUC), 2011 IFIP 9th International Conference on*, pages 229–236, Melbourne. IEEE.
- Krause, M. and Hochstatter, I. (2005). Challenges in modelling and using quality of context (QoC). In Magedanz, T., Karmouch, A., Pierre, S., and Venieris, I., editors, *Mobility Aware Technologies and Applications*, pages 324–333. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Li, M., Zhou, P., Zheng, Y., Li, Z., and Shen, G. (2014). IODetector: A generic service for indoor/outdoor detection. *ACM Trans. Sen. Netw.*, 11(2):28:1–28:29.
- Lopes, F., Delicato, F. C., Batista, T., Cavalcante, E., Pereira, T., Pires, P. F., Ferreira, P., and Mendes, R. (2013). OpenCOPI: middleware integration for ubiquitous computing. *International Journal of Parallel, Emergent and Distributed Systems*, 29(2):178–212.
- Lopes, J., Souza, R., Geyer, C., Costa, C., Barbosa, J., Pernas, A., and Yamin, A. (2014). A middleware architecture for dynamic adaptation in ubiquitous computing. *Journal of Universal Computer Science*, 20(9):1327–1351.
- Manzoor, A., Truong, H.-L., and Dustdar, S. (2009). Using quality of context to resolve conflicts in context-aware systems. In *Quality of Context: First International Workshop*, pages 144–155. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Marie, P., Desprats, T., Chabridon, S., Sibilla, M., and Taconet, C. (2015). From ambient sensing to IoT-based context computing: An open framework for end to end QoC management. *Sensors*, 15(6):14180.
- Martin, M. and Nurmi, P. (2006). A generic large scale simulator for ubiquitous computing. In *Mobile and Ubiquitous Systems - Workshops, 2006. 3rd Annual International Conference on*, pages 1–3, San Jose. IEEE.
- Nazário, D., Dantas, M., and Todesco, J. L. (2012). Taxonomia das publicações sobre qualidade de contexto. *Sustainable Business International Journal*, 20(2012):1–28.
- Neisse, R., Wegdam, M., and van Sinderen, M. (2014). Trust management support for context-aware service platforms. In Aldini, A. and Bogliolo, A., editors, *User-Centric Networking: Future Perspectives*, pages 75–106. Springer International, Cham.
- Pinheiro, D. N. (2014). MHNCS: Um middleware para o desenvolvimento de aplicações móveis cientes de contexto com requisitos de QoC. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Maranhão, São Luís.
- Yürür, Ö., Liu, C. H., Sheng, Z., Leung, V. C. M., Moreno, W., and Leung, K. K. (2016). Context-awareness for mobile sensing: A survey and future directions. *IEEE Communications Surveys Tutorials*, 18(1):68–93.

Uma Abordagem Dataflow para Processamento Contextual na Internet das Coisas *

Douglas Scheunemann¹, Adenauer Yamin¹, Renata Reiser², João Lopes³, Cláudio Geyer³

¹Universidade Católica de Pelotas (UCPEL) – Pelotas – RS – Brasil

²Universidade Federal de Pelotas (UFPEL) – Pelotas – RS – Brasil

³Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) – Porto Alegre – RS – Brasil

scheunemann.d.a@gmail.com, adenauer.yamin@ucpel.edu.br,
reiser@inf.ufpel.edu.br,
{jlblopes, geyer}@inf.ufrgs.br

Abstract. *The objective of this work is the design of an architecture focused on the composition of contextual processing flows to provide situation awareness for IoT applications. This work considers the use of a dataflow programming approach integrated with the EXEHDA middleware. A case study in the health area was carried out to evaluate the architecture.*

Resumo. *O objetivo deste trabalho é a concepção de uma arquitetura voltada para a composição de fluxos de processamento contextuais, provendo ciência de situação para aplicações na IoT. Este trabalho explora o uso de uma abordagem de programação dataflow integrada ao middleware EXEHDA. Como forma de avaliação da arquitetura, foi executado um estudo de caso na área da saúde.*

1. Introdução

Com os avanços ocorridos nas áreas de sensores, redes sem fio, dispositivos móveis e computação em nuvem, os conceitos de computação ubíqua, propostos originalmente por Mark Weiser, podem ser vistos atualmente em aplicações reais. Aplicações estas que agem de maneira proativa, identificando o contexto do usuário e fornecendo serviços otimizados considerando o mesmo, tornando a interação com os sistemas computacionais mais intuitiva e livre de distrações [Perera et al. 2013].

Nesse cenário, a IoT, utilizada como estratégia de ubiquidade, permite que uma grande variedade de dispositivos possa ser conectada através da infraestrutura disponibilizada pela Internet. Estes dispositivos podem fornecer informações de contexto, as quais através de técnicas de processamento contextual, permitem a identificação de situações. Nesse sentido, a ciência de situação representa a capacidade de um sistema computacional em obter uma visão abrangente e em alto nível de abstração dos contextos de interesse das aplicações, que pode ser utilizada em seu processo de tomada de decisão [Perera et al. 2013, Bibri 2015].

A principal contribuição deste trabalho é a concepção de uma arquitetura de software, integrada ao *middleware* EXEHDA (*Execution Environment for Highly Distributed Applications*) [Lopes et al. 2014], nomeada EXEHDA-IS (*EXEHDA – IoT Situations*)

*O presente trabalho foi realizado com apoio do Programa Nacional de Cooperação Acadêmica da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES/Brasil.

voltada para a composição de mecanismos do processamento contextual com o intuito de prover ciência de situação para aplicações no cenário da IoT.

O principal diferencial da arquitetura proposta, quando comparada com a de outros middlewares para IoT, é uso de uma abordagem *dataflow* para programação do processamento contextual, permitindo a composição de fluxos de processamento, os quais englobam técnicas de raciocínio baseadas em especificação e em aprendizagem e abstraem a distribuição física dos dispositivos.

A arquitetura proposta foi avaliada através de um estudo na área de saúde com foco em reabilitação cardíaca. Este estudo de caso permitiu a exploração de funcionalidades relativas à parametrização do processamento contextual utilizando a abordagem de programação *dataflow* e também a aplicação de um modelo raciocínio para identificação de situações utilizando lógica fuzzy e árvores de decisão.

2. EXEHDA-IS: Visão Geral e Funcionalidades

O objetivo do EXEHDA-IS é prover uma arquitetura de software que permita a **composição** e o **gerenciamento** de mecanismos para processamento contextual executado no servidor de contexto do *middleware* EXEHDA, combinando técnicas de aprendizado e especificação de regras. Na Seção 2.1 será introduzida a arquitetura do Servidor de Contexto do EXEHDA e nas Seções 2.2 e 2.3 serão apresentadas a arquitetura do módulo de processamento e a abordagem de programação *dataflow* propostas neste trabalho.

2.1. Arquitetura do Servidor de Contexto

O *middleware* EXEHDA possui dois tipos de servidores: (i) Servidor de Borda, responsável por interagir com ambiente através de sensores e atuadores; e (ii) Servidor de Contexto, responsável por prover funcionalidades para ciência de situação. Estes servidores são alocados em células no ambiente gerenciado pelo EXEHDA, onde cada célula possui um Servidor de Contexto e pode possuir vários Servidores de Borda.

O Servidor de Contexto é formado por cinco módulos: Aquisição, Atuação, Notificação, Comunicação e Processamento [Lopes et al. 2014], os quais podem ser visualizados na Figura 1. Os elementos destacados na figura representam as partes onde estão as principais contribuições deste trabalho, que são: o Módulo de Processamento, o Módulo de Comunicação e a Interface de Configuração. Estes elementos e os demais componentes do Servidor de Contexto serão descritos a seguir.

O **Módulo de Aquisição** é responsável pela captura das informações contextuais, coletadas pelos Servidores de Borda considerando sensores lógicos e físicos. Através do **Módulo de Atuação** é controlada a ativação, desativação e configuração dos atuadores, como consequência de uma notificação de outros módulos do Servidor de Contexto. O **Módulo de Notificação** é responsável por notificar o resultado do processamento das informações de contexto e da consequente identificação de situações realizada pelo Módulo de Processamento. Por sua vez, o **Módulo de Comunicação** é utilizado por Servidores de Contexto remotos e/ou aplicações para solicitação de situações constituídas por contextos de interesse correlacionados, dados contextuais e/ou o disparo de atuadores.

O **Módulo de Processamento** tem como principal função realizar as tarefas pertinentes ao tratamento das informações contextuais, bem como dos eventos para identificar

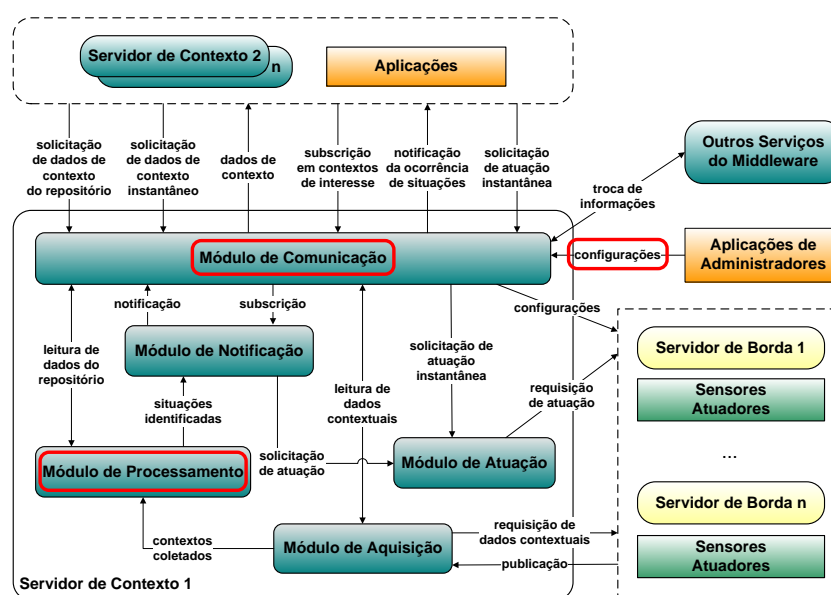


Figura 1. Arquitetura do servidor de contexto.

situações de interesse das aplicações. Para execução destas tarefas, é proposto neste trabalho o uso de um modelo de processamento contextual que permite a combinação de técnicas baseadas em aprendizado e especificação de regras, apresentado na Seção 2.2.

A **Interface de Configuração** permite que aplicações administradoras enviem configurações para o Servidor de Contexto. Estas configurações possibilitam a composição e o gerenciamento de fluxos de processamento contextual utilizando os mecanismos disponibilizados pelo Módulo de Processamento. A abordagem de programação *dataflow* proposta para esta interface é apresentada na Seção 2.3.

2.2. Arquitetura do Módulo de Processamento

A arquitetura do Módulo de Processamento proposto para o EXEHDA-IS foi elaborada visando o processamento de contexto através da combinação de técnicas baseadas em aprendizado e especificação de regras. Desta forma, possui componentes que atendem a demandas relacionadas com estes dois tipos de técnicas e também com o suporte para integração de ambas.

Técnicas baseadas em aprendizado permitem a análise de dados identificando padrões e realizando o tratamento de incertezas. As técnicas baseadas em especificação, por sua vez, possibilitam a representação de situações através de modelos de raciocínio criados a partir do conhecimento de especialistas da área de aplicação. A combinação destes dois tipos de técnicas permite que um número maior de situações possam ser identificadas, beneficiando-se do aprendizado do sistema e também da experiência de especialistas [Ye et al. 2012, Bellavista et al. 2012]. O Processamento das informações contextuais para identificação de situações é feito utilizando três conjuntos de componentes e um conjunto de repositórios, descritos a seguir.

Gerenciador de Contexto: é responsável por prover as funcionalidades necessárias para o processamento das informações contextuais, abrangendo as etapas de pré-processamento, agregação, armazenamento e consulta. As informações manipuladas pelo

gerenciador de contexto são armazenadas no Repositório de Informações de Contexto.

Gerenciador de Fluxos de Processamento: este gerenciador utiliza um mecanismo de eventos para disparar a execução dos fluxos de processamento. Estes eventos podem ser gerados pela alteração de dados de sensores ou outros contextos de interesse. A definição dos fluxos de processamento é armazenada no Repositório de Fluxos de Processamento através da API de Configuração, conforme descrito na Seção 2.3.

Gerenciador de Situações: disponibiliza as funcionalidades necessárias para o processo de raciocínio sobre os dados contextuais, visando a identificação de situações. Considerando a abordagem proposta neste trabalho, os mecanismos de raciocínio foram divididos em Especificação e Aprendizagem.

A etapa Aprendizagem contempla um dos desafios da abordagem proposta, que é permitir que os algoritmos de aprendizagem possam ser parametrizados e utilizados de maneira transparente pelas aplicações, evitando desta forma que detalhes do seu funcionamento necessitem de tratamento por parte do desenvolvedor das aplicações.

Por sua vez, a etapa de Especificação permite que sejam empregadas técnicas baseadas em especificação para inferência de situações, considerando tanto os dados de contexto coletados, como os resultantes do processamento realizado no bloco de Aprendizagem. Através de um processo de Normalização os valores numéricos destes dados contextuais são transformados para o domínio da técnica de especificação empregada.

A arquitetura do Módulo de Processamento do EXEHDA-IS é manipulada através de APIs e componentes de software que permitem compor os Fluxos de Processamento Contextuais, conforme descrito na Seção 2.3.

2.3. Abordagem *Dataflow* para Programação do Processamento Contextual

O método para programação do processamento contextual proposto para o EXEHDA-IS considera o uso de um modelo *dataflow* [Sousa 2012]. Tendo por base este modelo de programação, é buscado o suporte à operação autônoma do EXEHDA-IS na identificação de situações. Isto é, uma vez programado o fluxo de processamento contextual que deve ser executado, o *middleware* realiza as operações de coleta de dados, processamento contextual e notifica as aplicações quando as situações de interesse são identificadas. A programação de fluxos de processamento faz-se necessária, visto que é nesta etapa que são definidos os requisitos das aplicações e a forma como os mecanismos do *middleware* serão alocados para atendê-los.

A estrutura de processamento foi modelada para permitir acesso através de uma API do tipo REST [Fielding 2000] para o Gerenciador de Fluxos de Processamento. Para compor os Fluxos de Processamento Contextuais são criadas instâncias dos Componentes de Processamento, as quais têm as suas entradas e saídas conectadas para obter o processamento desejado.

Os Componentes de Processamento podem receber como entrada uma mensagem, a qual deve encapsular todas as variáveis necessárias para o processamento. Após o processamento podem ser geradas “N” mensagens de saída. Cada mensagem de saída pode encapsular uma estrutura de dados com “N” variáveis. No estudo de caso em Reabilitação Cardíaca, descrito na Seção 3, o encapsulamento dos dados das mensagens foi feito utilizando a linguagem de marcação JSON.

Na Figura 2 tem-se o modelo de processamento previsto para a composição dos Fluxos de Processamento Contextuais. A execução das Instâncias de Processamento é disparada por eventos de recepção de mensagens, as quais podem ser geradas na arquitetura do EXEHDA-IS por Fontes de Contexto ou por outros Fluxos de Processamento. Como Fontes de Contexto podem ser citados os servidores de Borda do EXEHDA.

Cada Fluxo de Processamento cadastrado no repositório do EXEHDA-IS recebe um identificador (id), que permite a sua manipulação pelos mecanismos do Gerenciador de Fluxos de Processamento e também através da API de configuração. Cada fluxo de processamento deve possuir ao menos uma URI definida na sua criação, que será utilizada para endereçar as mensagens para o fluxo de processamento.

Como pode ser visto na Figura 2, as terminações dos Fluxos de Processamento acionam APIs do EXEHDA-IS, representadas também por Componentes de Processamento. Na Figura 2 são referenciadas as APIs do Repositório de Informações de Contexto e do Gerenciados de Fluxos de Processamento, as quais permitem manipular informações de contexto e enviar mensagens para outros Fluxos, respectivamente. Pode ser visto também o componente genérico “API EXEHDA-IS”, que permite configurar a URI de uma API do *middleware* para a qual será enviada a mensagem.

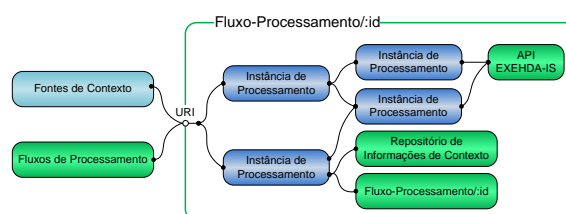


Figura 2. Modelo de processamento para a composição dos Fluxos de Processamento Contextual.

3. EXEHDA-IS: Avaliação da Arquitetura

Para realizar a avaliação das funcionalidades da arquitetura foi prototipada uma aplicação para monitoramento de pacientes em reabilitação cardíaca após um acidente vascular. A reabilitação cardíaca pode envolver diversas terapias, incluindo administração de medicamentos, aconselhamento nutricional e também a prescrição de atividades físicas. A reabilitação cardíaca através de atividades físicas é considerada uma terapia central. Estudos indicam que a reabilitação baseada em exercícios físicos foi associada a uma redução de 20 a 30% nas taxas de mortalidade, quando comparada com cuidados sem exercício [Rabelo et al. 2006].

Um aspecto que deve ser considerado na terapia através de exercícios físicos diz respeito a respostas desproporcionais na frequência cardíaca. Isto pode indicar uma situação de risco para o paciente. Desta forma, o reconhecimento da atividade física e sua correlação com a frequência cardíaca pode permitir uma recuperação mais segura [Negrão and Barreto 2010]. Nesse sentido, o emprego de sistemas computacionais para detecção autônoma de atividades e a correlação destas com parâmetros fisiológicos pode minimizar a necessidade de intervenção do próprio paciente ou do terapeuta na identificação de situações de risco.

A aplicação desenvolvida consiste em classificar a atividade física realizada pelo paciente, e correlacioná-la com a frequência cardíaca, permitindo identificar situações de risco, caso os parâmetros estejam fora da faixa de normalidade estabelecida pelo terapeuta. A saída produzida representa o nível de risco de saúde do paciente, classificado no domínio linguístico: “baixo”, “moderado” e “alto”. Na Figura 3 pode ser visto o fluxo de coleta e processamento de dados contextuais proposto.

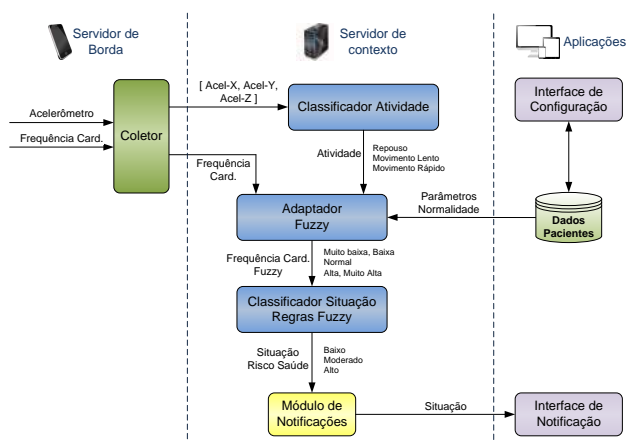


Figura 3. Visão geral do estudo de caso.

A identificação da atividade física do paciente foi feita utilizando algoritmos de classificação baseados em técnicas de aprendizado executadas sobre os sinais coletados a partir acelerômetro do *smartphone* do paciente. As regras para inferência do risco de saúde foram criadas utilizando lógica fuzzy, considerando a atividade física, a duração da atividade e a frequência cardíaca do paciente.

3.1. Identificação de Atividades

O treinamento e o teste do componente para a classificação de atividades foi feito utilizando a base de dados disponibilizada no trabalho de [Kwapisz et al. 2011], no qual foram capturados sinais de acelerômetros de *smartphones* de 29 voluntários durante a execução das seguintes atividades físicas: caminhando, correndo, subindo escada, descendo escada, sentado e de pé. Os autores disponibilizaram os sinais pré-processados com as características extraídas e também os valores lidos diretamente do acelerômetro do celular.

Foram feitos testes com quatro tipos de classificadores: Árvore de Decisão C4.5, Rede Bayesiana, Rede Neural e Regressão Lógica. Estes classificadores são apontados na literatura como os mais utilizados na identificação de atividades através de sensores vestíveis [Lara and Labrador 2012].

O sinal do acelerômetro foi obtido com uma taxa de 20 amostras por segundo e o processamento das características executado em janelas temporais de 10 segundos. Foi utilizado um conjunto com 15 características do sinal no processo de classificação, que são listadas a seguir:

- frequência das três componentes de maior amplitude da FFT calculada sobre o módulo da aceleração resultante;
- aceleração média nos eixos x, y e z;

- variância nos eixos x, y e z;
- aceleração máxima nos eixos x, y e z;
- aceleração mínima nos eixos x, y e z.

O classificador baseado em *Árvore de Decisão* obteve a melhor precisão dentre os quatro classificadores testados, com 90,61 % de acerto. Os classificadores utilizando Rede Bayesiana, Rede Neural e Regressão Lógica, obtiveram 88,68 %, 89,01 % e 85,65 % como taxa de acerto, respectivamente.

Com a finalidade de adequar as atividades para a aplicação proposta e também de melhorar o índice classificação correta, as atividades foram agrupadas como: **Repouso**: sentado e de pé; **Movimento Lento**: caminhando, descendo escada e subindo escada; e **Movimento Rápido**: correndo.

Utilizando a classificação agrupada, o processo de treinamento e teste dos classificadores foi repetido. O classificador *Árvore de Decisão* se manteve com o melhor índice de acerto. Após o treinamento, foi gerada uma *Árvore de Decisão* com 40 ramos e 79 elementos. O percentual total de classificação correta obtido foi de **98,32%**.

Para realizar as etapas de extração de características, armazenamento de exemplos, treinamento e classificação de atividade a partir do sinal obtido do acelerômetro do *smartphone*, foi criado no EXEHDA-IS o fluxo de processamento mostrado na Figura 4.

O Fluxo possui três URIs: (I) “/activity-example” – permite extrair as características do sinal e armazenar um exemplo para posterior treinamento do classificador baseado em aprendizado; (II) “activity-train” – realiza o treinamento de um classificador para atividades utilizando a base de exemplos armazenado no Repositório de Modelos de Aprendizagem; (III) “activity-classify” – executa a extração de característica e classificação da atividade, enviando o resultado para o repositório de informações de contexto.

Os componentes “classify” e “train” encapsulam o acesso às APIs de Execução e Treinamento do módulo Raciocínio-Aprendizagem da arquitetura do EXEHDA-IS. Na etapa de extração de características são utilizados os componentes *fft*, *mean*, *max* e *variance*, criados sobre a ferramenta Node-RED para este estudo de caso.

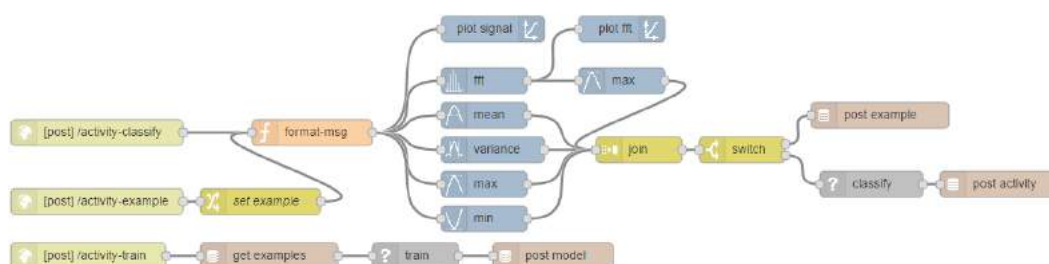


Figura 4. Fluxo de processamento voltado para a identificação de atividades.

3.2. Inferência de Situação

Na etapa de inferência de situação é feita a determinação do Nível de Risco para a Saúde do paciente baseado na sua frequência cardíaca e na atividade física realizada, previamente classificada conforme descrito na Seção 3.1.

A frequência cardíaca apropriada para cada atividade física é obtida através de uma interface para a aplicação em que é feito o gerenciamento dos pacientes. O domínio

linguístico para frequência cardíaca é dado por: “muito baixa”, “baixa”, “normal”, “alta” e “muito alta”. No bloco **Adaptador Fuzzy**, representado na Figura 3, os valores numéricos obtidos do sensor de batimento cardíaco são transformados para o domínio fuzzy aplicando funções de pertinência triangulares, parametrizadas com os padrões de normalidade do paciente. O mesmo procedimento é realizado para a variável que representa a duração da atividade, classificada como “Baixa”, “Média” e “Alta”.

A escolha da lógica fuzzy para a criação das regras de classificação de situações se deu tendo em vista os seus mecanismos voltados ao tratamento de dados imprecisos e construção de algoritmos através de modelos interpretáveis. Isso facilita a criação de regras por especialistas da área de aplicação [Sobrevilla and Montseny 2003].

A inferência foi feita aplicado o método Mamdani, no qual são previstos quatro módulos: *fuzzificação*, base de regras, inferência e *defuzzificação* [Shaw and Simões 2007]. Cada regra é formada por um conjunto de antecedentes que, relacionados através dos operadores fuzzy, geram um valor de pertinência resultante. Este é utilizado para ponderar a função de pertinência da variável linguística consequente. Neste trabalho foi aplicado o método *clipped*, onde a função de pertinência do consequente é “cortada” para o nível de pertinência resultante dos antecedentes avaliados na regra [Shaw and Simões 2007].

Após a execução das regras, são geradas funções de pertinência agregadas para cada variável linguística do conjunto de saída, as quais são agregadas novamente formando a função de pertinência que será aplicada na etapa de *defuzzificação*.

4. Trabalhos Relacionados

O estudo dos trabalhos relacionados foi feito considerando as seguintes características do EXEHDA-IS: (a) suporte para a criação e gerenciamento de fluxos de processamento contextual; (b) processamento de contexto com suporte a diferentes modelos de aprendizado na identificação de situações; (c) suporte à interação com sistemas e serviços da IoT; e (d) possibilidade de uso em diferentes domínios de aplicação.

O projeto CARA - *Context-Aware Real-time Assistant* [Yuan and Herbert 2014] tem por objetivo a criação de um sistema para prover serviços personalizados de assistência remota para idosos, permitindo a adaptação do sistema de acordo com as atividades normais do usuário. O mesmo prevê o uso de um modelo para processamento contextual, no qual técnicas para especificação de regras são combinadas com um algoritmo de aprendizado baseado em casos.

A arquitetura chamada Simurgh [Khodadadi et al. 2015] foi concebida com finalidade de permitir a descoberta de recursos, programação de fluxos de processamento e integração de serviços disponíveis na IoT. Os autores destacam como um problema central na área de IoT a dificuldade de integrar serviços disponíveis em diferentes plataformas comerciais ou abertas. Segundo os autores, isso se deve ao fato de ainda não existir na IoT um padrão compreensível e acessível através de um *framework* simples que permita o uso de dispositivos da IoT.

No *framework* proposto por [Chihani et al. 2014] é concebido um modelo para programação do processamento contextual focado na concepção de aplicações cientes do contexto. Os autores destacam como diferencial do seu *framework* o desacoplamento do

modelo de representação do contexto com a etapa de processamento. Os autores citam outros *frameworks* em que é suposto um compartilhamento do modelo contextual, o que em muitos casos limita a sua utilização em diferentes domínios de aplicação.

O *middleware* CoCaMALL – *A cloud-oriented context-aware middleware in ambient assisted living* [Forkan et al. 2014] é baseado em tecnologia de computação em nuvem com arquitetura orientada por serviços – SOA. O mesmo tem como principal objetivo oferecer serviços de processamento contextual para ambientes de vivência assistida, abrangendo as etapas de coleta de dados de sensores, processamento e distribuição de dados de contexto.

Na Tabela 1 é apresentada a comparação dos trabalhos, onde o símbolo “+” indica que o requisito é completamente atendido, o símbolo “-” denota que o requisito não é atendido e o símbolo “+/-” indica que o requisito é parcialmente atendido.

Tabela 1. Comparação dos trabalhos relacionados.

	CARA	Programmable Context Awareness Framework	Simurgh	CoCaMAAL
a	-	+	+	+/-
b	+/-	-	-	+
c	+/-	+	+	+
d	-	+	+	-

Conforme os dados apresentados na Tabela 1, nota-se que nenhuma das plataformas analisadas atende a todos os requisitos considerados, sendo que a abordagem para processamento contextual baseada em diferentes técnicas de aprendizado foi atendida plenamente somente pelo *middleware* CoCaMAAL.

As plataformas independentes de domínio de aplicação não oferecem suporte para o processamento de contexto baseado em aprendizado. Desta forma, uma lacuna de pesquisa nos trabalhos estudados é a ausência de uma arquitetura que combine modelos de processamento de contexto baseados em aprendizado com mecanismos para suporte à programação de fluxos de processamento contextuais, como é proposto no EXEHDA-IS.

5. Considerações Finais

A principal contribuição deste trabalho é a concepção da arquitetura EXEHDA-IS, a qual provê uma abordagem *dataflow* para programação do processamento contextual, visando à identificação de situações. Esta abordagem explora a combinação de técnicas baseadas em aprendizado de máquina e especificação de regras, com o intuito de potencializar suas características para identificação de situações. Nesse sentido, a utilização da abordagem *dataflow* permite a criação de Fluxos de Processamento Contextuais em um modelo com alto nível de abstração, facilitando a inferência de situações.

O estudo de caso desenvolvido permitiu avaliar a arquitetura do EXEHDA-IS frente a aplicação de modelos de processamento contextuais baseados em aprendizado e em especificação de regras. Possibilitou ainda, demonstrar a utilização do Gerenciador de Fluxos de Processamento. De maneira geral, o estudo de caso mostrou a relevância da arquitetura proposta frente a cenários de aplicação típicos da IoT, nos quais as fontes

de dados são distribuídas e heterogêneas e as aplicações devem ser carregadas de forma mínima com tarefas de processamento contextual e identificação de situações.

Referências Bibliográficas

- Bellavista, P., Corradi, A., Fanelli, M., and Foschini, L. (2012). A survey of context data distribution for mobile ubiquitous systems. *ACM Computing Surveys*, 44(4):1–45.
- Bibri, S. E. (2015). *The Human Face of Ambient Intelligence*, volume 9.
- Chihani, B., Bertin, E., and Crespi, N. (2014). Programmable context awareness framework. *Journal of Systems and Software*, 92(1):59–70.
- Fielding, R. T. (2000). *Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures*. PhD thesis, University of California.
- Forkan, A., Khalil, I., and Tari, Z. (2014). CoCaMAAL: A cloud-oriented context-aware middleware in ambient assisted living. *Future Generation Computer Systems*, 35:114–127.
- Khodadadi, F., Dastjerdi, A. V., and Buyya, R. (2015). Simurgh: A framework for effective discovery, programming, and integration of services exposed in IoT. *Recent Advances in Internet of Things (RIoT), 2015 International Conference on*, (April):1–6.
- Kwapisz, J. R., Weiss, G. M., and Moore, S. a. (2011). Activity recognition using cell phone accelerometers. *ACM SIGKDD Explorations Newsletter*, 12:74.
- Lara, O. D. and Labrador, M. a. (2012). A Survey on Human Activity Recognition using Wearable Sensors. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, pages 1–18.
- Lopes, J., Souza, R., Geyer, C., Costa, C., Barbosa, J., and Augustin, I. (2014). A middleware architecture for context-aware adaptation in. *Journal of Universal Computer Science*, 20(9):1327–1351.
- Negrão, C. E. and Barreto, A. C. P. (2010). *Cardiologia do Exercício: do Atleta ao Cardiopata*. Manole, Barueri, SP - Brazil, 3 edition.
- Perera, C., Zaslavsky, A., Christen, P., and Georgakopoulos, D. (2013). Context Aware Computing for The Internet of Things : A Survey. *IEEE COMMUNICATIONS SURVEYS & TUTORIALS*, X(X):1–41.
- Rabelo, D., Gil, C., and Araújo, S. D. (2006). Reabilitação cardíaca com ênfase no exercício: uma revisão sistemática. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, 12(5):279–285.
- Shaw, I. and Simões, M. (2007). *Controle e Modelagem Fuzzy*. 2 edition.
- Sobrevilla, P. and Montseny, E. (2003). Fuzzy Sets in Computer Vision : an Overview. *Mathw. Soft Computing*, 10:71–83.
- Sousa, T. B. (2012). Dataflow programming concept, languages and applications. In *Doctoral Symposium on Informatics Engineering*, number January.
- Ye, J., Dobson, S., and McKeever, S. (2012). Situation identification techniques in pervasive computing: A review. *Pervasive and Mobile Computing*, 8(1):36–66.
- Yuan, B. and Herbert, J. (2014). Context-aware hybrid reasoning framework for pervasive healthcare. *Personal and Ubiquitous Computing*, 18(4):865–881.

Qualidade de Informação de Sensores para Gerenciamento de Situações: um estudo de caso em monitoramento térmico

Allan F. F. Amaral¹, Matheus O. Jagi¹, José Gonçalves Pereira Filho², Silvana Rossetto³, João L. R. Moreira⁴

¹Laboratório de Informática Aplicada – Instituto Federal do Espírito Santo (IFES)
Colatina, ES – Brasil

²Departamento de Informática – Programa de Pós-Graduação em Informática
Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) - Vitória, ES – Brasil

³Departamento de Ciência da Computação – Universidade Federal do Rio de Janeiro
(UFRJ) – Rio de Janeiro, RJ – Brasil

⁴Faculty of Electrical Engineering, Mathematics and Computer Science (EMACS)
University of Twente – Enschede, The Netherlands

allanf@ifes.edu.br, jagi.matheus@gmail.com, zegonc@inf.ufes.br,
silvana@dcc.ufrj.br, j.luizrebelomoreira@utwente.nl

Abstract. *Ubiquitous and pervasive computing enables context-sensitive monitoring applications to use sensor networks as data sources, thereby linking the physical world to the information world. Before being consumed, the data collected needs to be evaluated for their quality dimensions. With these metadata, applications can decide to discard or use the data to detect situations of interest, which may vary over time and according to the domain of each application. In this article, we present an architecture for WSN-based monitoring applications that introduces integrated support for quality of information (QoI) and management of situations. The validation of this architecture is described with a case study in thermal monitoring domain.*

Resumo. *A computação ubíqua e pervasiva permite que aplicações de monitoramento sensíveis ao contexto utilizem redes de sensores como fontes de dados, acoplando o mundo físico ao mundo da informação. Antes de serem consumidos, a qualidade dos dados coletados precisa ser avaliada. Com base nessa avaliação, a aplicação pode decidir pelo descarte ou uso dos dados para a detecção de situações de interesse, as quais podem variar ao longo do tempo e de acordo com o domínio da aplicação. Neste artigo, apresentamos uma arquitetura para aplicações de monitoramento com suporte integrado à qualidade da informação e gestão de situações de interesse. A validação dessa arquitetura é descrita com estudo de caso em monitoramento térmico.*

1. Introdução

O progresso de tecnologias de computação ubíqua e pervasiva oferece um cenário propício para a criação de aplicações que promovem novas formas de diálogo entre o mundo virtual e o mundo físico (Miorandí *et al.*, 2012). Essas tecnologias incluem a miniaturização de dispositivos eletrônicos baseados em sistemas micro eletromecânicos, com capacidades integradas de sensoriamento, processamento e comunicação sem fio,

os quais podem ser embarcados em praticamente qualquer objeto (ou “coisa”) do cotidiano. A Internet das Coisas (*IoT – Internet of Things*) vislumbra um cenário onde milhões desses objetos são interconectados e dinamicamente integrados à Internet, compondo uma visão que alguns autores vem comparando a uma imensa pele digital (“digital skin”) (Al-Fuqaha *et al*, 2015). Os desafios para o desenvolvimento de infraestruturas de suporte para IoT, entretanto, englobam questões que vão além da tradicional economia de recursos das Redes de Sensores sem Fio (RSSF) e adaptação de protocolos. Duas questões são especialmente relevantes: o controle da qualidade dos dados coletados e a gerência das situações de interesse das aplicações.

A primeira questão revela-se particularmente complexa, pois decisões autônomas tomadas por máquinas baseadas em dados imprecisos dos sensores e/ou em informações equivocadas geradas nos sistemas de informação a partir dos dados sensoreados, podem ter um impacto significativo nos processos de tomada de decisão e levar a consequências incalculáveis para pessoas, ambientes e negócios. Isso é especialmente crítico quando bases de dados com valores errôneos podem ser compartilhadas por serviços e aplicações, em diferentes domínios, amplificando o problema. Neste sentido, o uso de teorias e estudos sobre *Quality of Information (QoI)* (Sachidananda *et al.*, 2010) assume grande relevância na pesquisa em RSSF e IoT (Bisdikian *et al* 2013). Por exemplo, a criação de abordagens baseadas em métodos estatísticos para avaliar a relevância e a confiabilidade dos dados coletados pelos nós sensores pode ser bem útil para as infraestruturas de RSSF e, particularmente, para o universo de IoT, onde as soluções devem promover confiabilidade em ambientes caracterizados pela alta heterogeneidade de hardware.

A segunda questão está relacionada à definição e detecção das situações de interesse em aplicações sensíveis ao contexto (Dey, 2001) (Baldauf *et al*, 2007). As situações definidas pelas aplicações revelam um estado particular de interesse e servem de apoio para o especialista do domínio. Por exemplo, no monitoramento térmico de equipamentos de uma rede de frios, o aumento da temperatura de uma entidade seguido do aumento da temperatura de seu equipamento evaporador pode indicar estados relevantes como degelo ou histerese. Inferir a ocorrência das situações de interesse é, portanto, um aspecto essencial ao processo de tomada de decisão e uma funcionalidade desejável nas infraestruturas de suporte à RSSF. Do mesmo modo, a funcionalidade de gerência de situações é também de particular interesse para a IoT, tendo em vista a variedade e a quantidade de potenciais situações de interesse, dada a diversidade e a abundância de fontes contextuais proporcionada pelos dispositivos de IoT.

A partir de um problema real de monitoramento térmico em uma rede de frios, este trabalho propõe uma infraestrutura baseada em RSSFs com suporte integrado à QoI e situações contextuais. A reunião destas duas importantes funcionalidades é ainda pouco explorada pelas arquiteturas correntes de RSSF/IoT e constitui o diferencial da infraestrutura concebida. A possibilidade de economia de energia dos nós da rede é um benefício adicional da proposta.

Este artigo está assim estruturado: a Seção 2 introduz os fundamentos da pesquisa desenvolvida e alguns trabalhos correlatos. A Seção 3 descreve o cenário de aplicação usado no estudo de caso para ilustrar, na prática, os benefícios do suporte integrado à QoI e gestão de situações. A arquitetura da solução é apresentada na Seção IV. A Seção V reporta um experimento de validação da arquitetura com base nos dados

coletados no cenário escolhido. A Seção VI conclui o artigo e aponta perspectivas futuras para a pesquisa iniciada neste trabalho.

2. Fundamentos e Trabalhos Relacionados

As Redes de Sensores sem Fio (RSSFs) são provedoras de dados obtidos a partir do sensoriamento de grandezas físicas, como temperatura, luminosidade e ruído. Essas informações podem ser usadas por uma aplicação específica (projetada com a RSSF) ou por aplicações distintas sem que necessariamente se conheça a priori essas aplicações e suas finalidades. Como discutido em (Bisdikian *et al.*, 2013), a capacidade da RSSF desempenhar bem a sua tarefa de coletar e prover informações de grandezas físicas está relacionada com os atributos de Qualidade da Informação (QoI) e quão bem os valores dessas propriedades suprem as demandas das aplicações finais. QoI pode ser definida como um conjunto de características ou atributos inatos da informação através dos quais é possível fazer julgamentos sobre a adequação do uso e utilidade dessa informação para um determinado propósito (Bisdikian *et al.*, 2013).

Os dados coletados por um sensor podem não refletir exatamente o valor real da grandeza física mensurada devido à imprecisão do próprio dispositivo ou às interferências do meio (e.g., presença de ruídos). Associar ao dado sensorizado propriedades de QoI permite que as aplicações finais avaliem o valor/significado desse dado para as finalidades da aplicação. A imprecisão das medidas, por exemplo, é uma característica que, dependendo da aplicação, pode ser compensada com algum tipo de processamento estatístico. Quando RSSFs são usadas como fontes de dados para aplicações distintas, os atributos de QoI ganham maior relevância, uma vez que os mesmos dados poderão ser usados em circunstâncias diferentes (Su, 2013).

A escolha de atributos para representar QoI deve ser determinada de acordo com sua relevância para aplicações que usam a RSSF como fonte de dados. Sachidananda *et al.* (Sachidananda *et al.*, 2010) destacam a importância de atributos como precisão, pontualidade e reusabilidade dos dados. Guo *et al.* (Guo *et al.*, 2015) propõem um framework para dinamicamente admitir QoI em aplicações de RSSF com foco em precisão e pontualidade dos dados coletados. Trabalhos como (Fawzy *et al.*, 2013) (Zhang *et al.*, 2010) e (Abid *et al.*, 2014) abordam QoI com base na análise do conjunto de dados produzidos pelos nós da RSSF. Isto é feito por meio de técnicas estatísticas, mineração de dados, inteligência artificial, aprendizado de máquina ou teoria da informação. O termo comumente usado por essas técnicas é *outlier* (ou anomalia), o qual consiste de uma observação ou um subconjunto de observações que parece ser inconsistente com as demais. Nas RSSFs, testes estatísticos podem ser aplicados para detectar *outliers*, uma vez que possuem baixa complexidade computacional e resultados matemáticos justificáveis (Zhang *et al.*, 2010). Dentre os testes mais comuns destacam-se o teste de Dixon, Chauvenet e Grubbs (Oliveira, 2008), além do teste dos Quartis (NISHA *et al.*, 2014). Os valores anômalos normalmente são associados a valores dispersos caracterizados como erros aleatórios, os quais devem ser minimizados para que as informações geradas, p. ex., a média dos valores lidos por um subconjunto de sensores, não fique distorcida (Oliveira, 2008). Zhou *et al.* (Zhou *et al.*, 2015) utilizam algoritmos para verificar a confiabilidade do dado fornecido pelos sensores e, a partir dessa avaliação, identificar e reconstruir dados anormais coletados em ambientes de larga escala.

Uma série de trabalhos exploram QoI em aplicações sensíveis ao contexto (também chamadas de aplicações sensíveis às situações). Essas aplicações geralmente implementam um mecanismo de identificação de situações pré-determinadas para endereçar os requisitos dos usuários. Uma situação pode ser entendida como um estado particular da realidade de interesse de uma aplicação (Costa *et al.*, 2016). Por exemplo, no monitoramento da temperatura de redes de frio, o tipo de situação “refrigerador em degelo” é fundamental para o controle de qualidade dos produtos. Uma aplicação sensível a situações requer, em tempo de projeto, suporte para especificar os tipos de situação e para implementar um mecanismo de identificação de situações. Em tempo de execução (“*runtime*”), a aplicação deve processar (detectar e manter) dados contextuais relacionados aos tipos de situação (Moreira *et al.*, 2015).

Para abordar o primeiro requisito, a estratégia de especificação deve considerar a reificação do conceito “tipo de situação”, estabelecendo regras sobre os valores das propriedades e relacionamentos entre os elementos percebidos no contexto, assim como suas propriedades temporais. Para endereçar o segundo requisito, sistemas baseados em regras podem ser utilizados (Pereira *et al.*, 2013), pois abordam a captura, armazenamento, distribuição e raciocínio do conhecimento. O conhecimento é representado como conjuntos de regras repetidamente aplicadas a um conjunto de fatos armazenados na memória de trabalho do sistema. Esses fatos representam um determinado estado observado no mundo real, ou seja, a interpretação dos dados de contexto.

Alguns sistemas baseados em regras também oferecem suporte ao processamento de eventos complexos (CEP), possibilitando a execução de regras temporais específicas, como relações temporais de Allen e ocorrência de eventos em determinadas janelas de tempo. *Drools* (www.drools.org) é um exemplo de um sistema baseado em regras que fornece capacidades complexas de processamento de eventos para relacioná-los através de construções temporais com operadores Allen. As funcionalidades do *Drools* foram exploradas por (Pereira *et al.*, 2013) e (Costa *et al.*, 2016), para propor o SCENE, uma plataforma aberta baseada na teoria da ciência de situação, e que permite a implementação de situações e o seu processamento em tempo de execução. A plataforma SCENE estende o *Drools Rule Language (DRL)* adicionando atributos de metadados que especificam os tipos de situações e as participações de contexto. O SCENE suporta a implementação de tipos de situação, assim como a implantação, detecção e controle de ciclo de vida de situações em *runtime*, oferecendo as funcionalidades de gestão de situações requeridas pela arquitetura conceitual proposta neste trabalho.

3. Cenário de aplicação: monitoramento térmico de uma rede de frios

Atualmente, devido à crescente cobrança de normas e padrões de órgãos públicos e de consumidores, as empresas ligadas à cadeia de comercialização de alimentos têm buscado nas ferramentas tecnológicas auxílio para atender as exigências legais e garantir a qualidade de seus produtos. Um dos maiores problemas deste cenário é a perda ou degradação dos produtos pela inexistência ou falha de um monitoramento constante da temperatura. Espera-se, então, que o funcionamento dos equipamentos de refrigeração seja monitorado com certa frequência e a possível ocorrência de eventos de alerta de falhas de operação seja detectada e expressa em intervalos de tempo aceitáveis.

Ambientes com estas características normalmente geram uma grande quantidade de dados, variando de acordo com o intervalo de medições requerido. Em princípio, todas as amostras coletadas pelos sensores devem ser consideradas (pois podem apontar uma variação no funcionamento do equipamento), mas nem todas serão relevantes para a aplicação alvo por não apresentarem alterações significativas. Nesse caso, pode-se economizar recursos de hardware evitando o encaminhamento desnecessário desse dado até a aplicação final. Por outro lado, ainda que o dado seja relevante para a aplicação, é necessário considerar que ele pode ser resultado de um erro de medição, o que pode levar o sistema a desencadear alertas falsos ou deixar de emitir um alerta quando o equipamento de fato apresenta falha. Em ambos os casos, verificar a qualidade da informação coletada torna-se um requisito da aplicação, o que pode ser feito avaliando-se atributos como a relevância e a exatidão dos dados coletados. Essa avaliação pode empregar técnicas estatísticas dentro da própria rede de sensores (permitindo economia na transmissão de dados), quanto na aplicação (permitindo economia de processamento dentro da rede e maior independência entre a aplicação e a rede de sensores).

As temperaturas dos equipamentos oscilam por causa do seu ciclo de funcionamento, como congelamento, degelo, etc., ou por causas externas, como desligamento, funcionamento irregular, etc. Esses eventos podem representar situações de interesse para o usuário final ou para um sistema de controle automático do ambiente. A partir da notificação desses eventos é possível tomar as medidas cabíveis em tempo hábil. A Figura 1(a) ilustra o cenário de aplicação descrito acima.

4. Arquitetura Proposta

Algumas infraestruturas de IoT reportadas na literatura exibem arquiteturas conceituais complexas para atender diferentes visões da IoT (indústria, governo, academia, comércio, entretenimento, etc.). Ao contrário destas, a arquitetura proposta neste trabalho segue um modelo básico de IoT (Al-Fuqaha *et al*, 2015). Este modelo, via de regra, apresenta na sua base uma camada de baixo nível de abstração, onde são abordadas preocupações tecnológicas e, no topo desta, dois ou mais níveis com recursos, conceitos e funcionalidades voltadas à transformação, armazenamento e comunicação dos dados provenientes da camada tecnológica, bem como à produção de informação mais abstrata para atender aos requisitos de serviços, aplicações e processos de negócios usuários da arquitetura.

Diferentemente das arquiteturas investigadas, a infraestrutura aqui proposta incorpora ao modelo básico uma camada transversal de gerenciamento, dotada de recursos para gerência da qualidade da informação coletada de redes de sensores e dispositivos de IoT e das situações contextuais de interesse das aplicações. Esta característica de suporte integrado a QoI e Situações é ainda pouco explorada e constitui o foco principal da infraestrutura desenvolvida.

Na nossa proposta, ilustrada na Figura 1(b), um módulo de gerenciamento integrado de QoI e Situações está acoplado transversalmente numa arquitetura básica de quatro camadas sobrepostas, de forma que os elementos das camadas mais baixas suportam a operação das camadas mais altas. A camada de *Infraestrutura* se localiza no nível mais baixo da arquitetura onde está fisicamente a RSSF. Nesse nível, o desenvolvedor define os protocolos de comunicação entre os sensores e o código que executará em cada sensor para coletar dados e enviá-los até a estação base (ou roteador

de borda) da rede. A camada de *Dados* é responsável por armazenar os dados das leituras e outros metadados coletados pela RSSF (e.g., identificador do sensor, nível de bateria do nó, etc.), permitindo manter um histórico das medições realizadas e do funcionamento da rede. Dependendo da solução projetada, os dados coletados podem ser armazenados em mais de uma base de dados, usando banco de dados relacionais ou de triplas RDF. A camada de *Serviços* visa fornecer uma representação padrão dos dados coletados para atender aos interesses das aplicações finais. Esta representação é baseada no conceito de *Web Services (WS)*. Alguns serviços têm foco no domínio da aplicação, por exemplo, a temperatura média da entidade monitorada; outros são voltados à infraestrutura de monitoramento, por exemplo, quais entidades estão sendo monitoradas. A camada de *Aplicação* está localizada no topo da arquitetura.

Posicionada transversalmente na arquitetura, a camada *Gerenciamento* provê mecanismos que permitem gerenciar elementos de outras camadas. É nesta camada que são definidos os módulos que implementam a funcionalidade de gestão integrada de QoI e de Situações. O módulo de *Gerenciamento de QoI* tem duplo papel na arquitetura. Na camada de *Infraestrutura* é o responsável por avaliar a relevância do valor obtido pelo sensor para o domínio ao qual é aplicado; na camada de *Dados* seu papel é realizar avaliações sobre os dados recebidos pelos sensores e inferir (por exemplo, através de métodos estatísticos) a confiabilidade desses dados. O módulo de *Gerenciamento de Situações* tem suas preocupações voltadas à sensibilidade ao contexto. O gerenciamento de situações pode implicar, por exemplo, na geração de notificações para as aplicações finais, cabendo a estas fazer as intervenções ou tomar as ações necessárias.

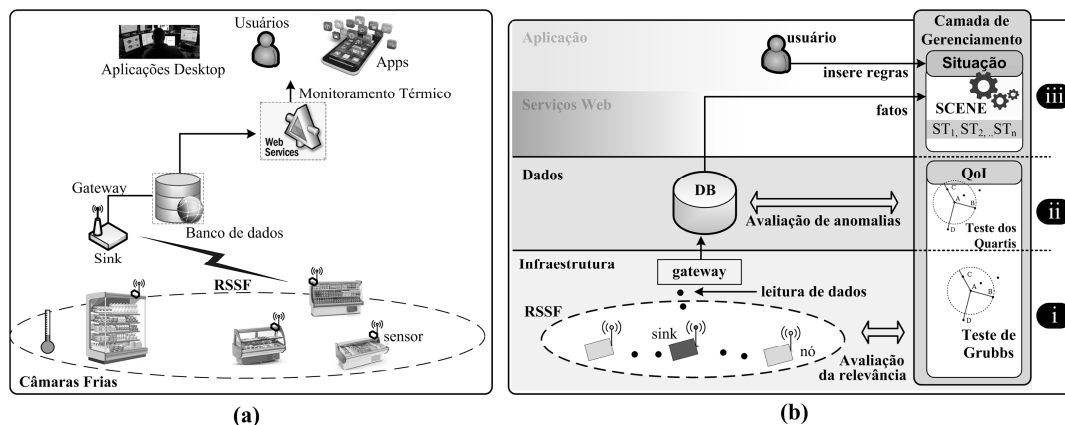


Figura 1. (a) Cenário de aplicação. (b) Arquitetura conceitual instanciada

5. Experimento de instanciação e avaliação da arquitetura proposta

Usamos o cenário de aplicação descrito na Seção 3 para instanciar e avaliar a arquitetura conceitual proposta. A Figura 1(b) ilustra essa instanciação. O gerenciamento de QoI é baseado em testes de valores extremos (*outliers*). Na camada de *Infraestrutura*, a relevância do valor obtido pelo sensor de temperatura é avaliada por meio de um algoritmo estatístico baseado no *Teste de Grubbs* (Figura 1(b)(i)) e utiliza como parâmetro o cálculo do nível de significância sobre os valores das temperaturas coletadas. Caso o último valor lido ultrapasse o índice crítico comparado aos valores previamente coletados, o dado é transmitido pelo nó sensor e armazenado na base de

dados. Assim, recursos da RSSF, como energia e banda, são economizados, uma vez que apenas dados relevantes serão transmitidos para uso pela aplicação. Na camada de *Dados*, o módulo de QoI realiza avaliações sobre a confiabilidade dos dados entregues pela RSSF (Figura 1(b)(ii)). Essa avaliação utiliza um algoritmo estatístico baseado no teste dos *Quartis*, que realiza a avaliação de um dado perante um subconjunto de dados previamente lidos e divididos em quatro partes. Dessa forma, os valores que pertencerem ao subconjunto dos dados que são maiores ou menores do que determinada amplitude (valor configurável) serão marcados como valores anômalos ou inválidos.

A gerência de situações é suportada pela plataforma SCENE (Pereira *et al.*, 2013) (Costa *et al.*, 2016) (Figura 1(b)(iii)). Os *Situation Types* (STs) especificados no SCENE revelam estados particulares de interesse e servem de apoio para o especialista do domínio. Por exemplo, no cenário de rede de frios, o aumento da temperatura da entidade seguido do aumento da temperatura de seu equipamento evaporador pode indicar alguns estados de interesse (degelo, histerese, etc). Uma vez que os ciclos de funcionamento das entidades monitoradas são dinâmicos, o gerenciamento do ciclo de vida da situação se mostra fundamental, pois é possível identificar os momentos em que as situações são ativadas ou desativadas. Observa-se, ainda, que a estratégia de ciclo de vida da situação empregada no SCENE se beneficia de um recurso do *Drools* chamado *Truth Maintenance System (TMS)*, que garante automaticamente a integridade lógica dos fatos que são inseridos na memória de trabalho.

5.1 Implantação do experimento

Os experimentos foram realizados em cinco câmaras frias nas quais foram acoplados, externamente, nós MEMSIC IRIS e, internamente, sonda de temperatura. Em 100 horas de testes, aproximadamente 5500 amostras foram coletadas e transmitidas para um nó *sink* MIB520. Levando em consideração a funcionalidade proposta pelo gerenciamento de QoI na camada de *Infraestrutura* e as demandas do cenário, a aplicação embarcada nos sensores tem os seguintes comportamentos: (i) observa dados obtidos pelo sensor de temperatura em intervalos de 120s; e (ii) avalia a relevância do dado atual considerando as três últimas leituras. Na visão do especialista do domínio, uma leitura a cada 120 segundos é suficiente para atender aos propósitos do monitoramento das câmaras frias.

Na camada de *Infraestrutura*, o algoritmo estatístico avalia a relevância dos dados coletados. Após testes empíricos nas bases de dados previamente coletadas, o índice de 90% da tabela do *teste de Grubbs* referente às três últimas amostras ($n=3$) lidas pelo sensor se mostrou como o mais adequado. Na camada de *Dados*, o algoritmo baseado no teste dos *Quartis* avalia se o dado coletado pertence ao subconjunto de dados previamente lidos, uma vez que o algoritmo dos nós sensores não detectam dados anômalos. Para isso, o algoritmo leva em consideração a normalização dos dados, que garante equidade temporal das leituras transmitidas pelos nós sensores. Com isso, é possível avaliar o mesmo subconjunto de dados observados pelos sensores em busca de *outliers*. O processo de avaliação utiliza a base de dados normalizada e aplica um algoritmo estatístico em busca de valores extremos, isto é, o objetivo é detectar aqueles que não pertencem ao subconjunto da amostra.

5.2 Avaliação do experimento

A Tabela 1 resume os principais resultados dos algoritmos de QoI aplicados em três bases de dados reais de câmaras frias. Na camada de *Infraestrutura*, os *outliers*

representam o total de pacotes relevantes transmitidos. Os resultados mostrados na tabela apontam uma economia de até 50% de transmissões de pacotes na rede se comparados com as amostras coletadas.

Tabela 1. Resultados do algoritmo de QoI nas Camadas de Infraestrutura e de Dados

Coleta de dados		<i>Camada de Infraestrutura</i>		<i>Camada de Dados</i>	
Câmara	Amostras	Outliers	Economia de Transmissões	Valores Anômalos Detectados	Falsos Positivos
A	1269	635	~50%	~94%	0,79%
B	1279	740	~41%	100%	0%
C	1331	797	~40%	~97%	0,47%

Na camada de *Dados*, o algoritmo baseado no teste dos *Quartis* avalia se o dado coletado é anômalo ou não. A fim de verificar o comportamento do algoritmo na presença de valores anômalos, ~2% dos valores da base de dados foram substituídos aleatoriamente por valores irregulares. Estes valores foram inseridos no subconjunto de dados testados de tal forma que se distanciam se confrontados com os demais. Como parâmetro, o distanciamento utilizado nos testes leva em consideração *outliers* extremos no intervalo de sete amostras. Os resultados mostrados na Tabela 1 indicam a porcentagem de valores anômalos detectados e falsos positivos. Os resultados mostram que, aproximadamente, 97% de dados anômalos são detectados e que o número de falsos positivos totaliza, em média, 0,42% do total de amostras.

Já no caso do gerenciamento de situações, é possível verificar o comportamento das entidades monitoradas através das *Situation Types (STs)* desenvolvidas no SCENE para o cenário de aplicação. Três STs foram implementadas: *IncreasingValue* (ST1), *DecreasingAfterIncreasing* (ST2) e *DecreasingValue* (ST3). Na Figura 2(a) é possível observar o gráfico do ciclo de funcionamento de uma entidade monitorada.

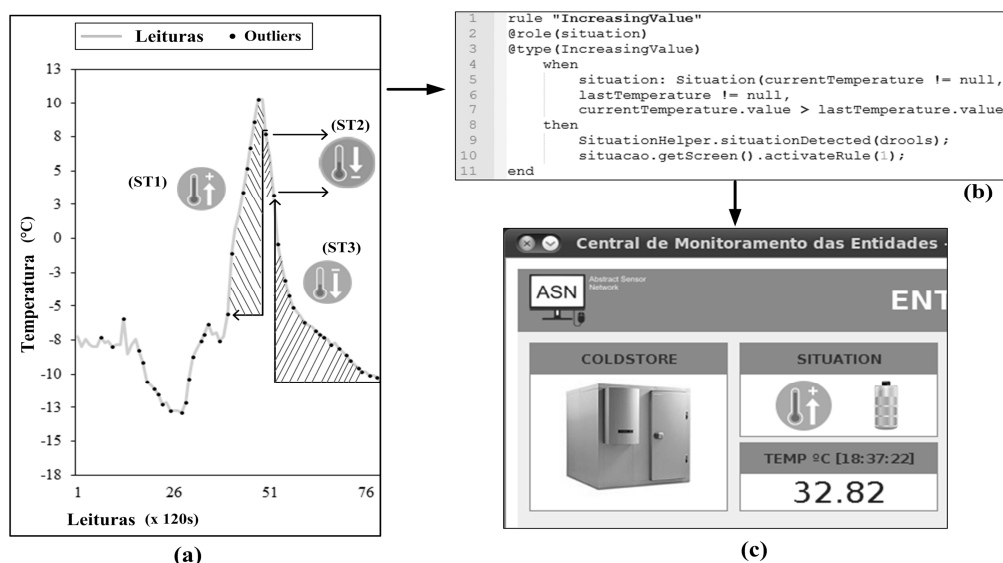


Figura 2. Fluxo das STs desenvolvidas. (a) Gráfico dos ciclos do cenário. (b) Definição da ST "IncreasingValue". (c) Interface da aplicação cliente.

A linha contínua (*Leituras*) indica todas as leituras dos valores das temperaturas coletadas pelo sensor posicionado na entidade. Os pontos pretos nesta linha são os *outliers* da RSSF e representam os valores relevantes. Ainda na Figura 2(a), os STs *IncreasingValue* (ST1), *DecreasingAfterIncreasing* (ST2) e *DecreasingValue* (ST3) utilizam os valores relevantes para detectar as situações conforme as regras estabelecidas. A implementação da ST *IncreasingValue* é mostrada na Figura 2(b) como exemplo.

Com a finalidade de acompanhar os resultados dos ciclos das STs desenvolvidas para o cenário, uma aplicação Java implementa as funcionalidades de controle de atividades das câmaras e, adicionalmente, o monitoramento da situação da matriz energética dos nós da RSSF. A Figura 2(c) ilustra um fragmento da interface da aplicação desenvolvida e demonstra os resultados do monitoramento de uma entidade teste. No fragmento da interface disponibilizada é possível observar que o resultado da execução da ST1 *IncreasingValue*, de acordo com a Figura 2(b) linha 10, é a ativação da regra na qual um ícone ilustrativo é plotado na tela como forma de notificar ou alertar o usuário de que a situação de aumento da temperatura está ocorrendo.

6. Conclusões

Este trabalho apresentou uma proposta de arquitetura conceitual para o desenvolvimento de aplicações de RSSF/IoT com foco na integração entre Qualidade da Informação e Detecção de Situações. Uma instanciação dessa arquitetura foi concebida para implementar uma aplicação de monitoramento da temperatura de alimentos resfriados/congelados. Algoritmos estatísticos foram utilizados na instanciação da arquitetura contribuindo de duas formas: filtrando apenas os dados relevantes para a aplicação alvo e avaliando a confiabilidade do dado coletado. No estudo de caso realizado, a avaliação de relevância dos dados coletados pelos sensores representou uma redução de até 50% de transmissão de pacotes na rede, economizando recursos da infraestrutura, como banda e energia. Trabalhos futuros incluem explorar outros indicadores de QoI além daqueles que foram abordados nesta proposta, assim como novas abordagens para avaliação dos dados, como a comparação de dados obtidos de outros sensores sob as mesmas condições. Questões como a reputação dos sensores também podem ser explorados em novos trabalhos, informando ao usuário ou aplicação qual é o grau de confiança que determinado sensor possui. Por último, a experiência deste trabalho nos leva a acreditar que a arquitetura pode se adequar em outros domínios, por exemplo, na agricultura de precisão, na qual esta proposta está sendo testada para coletar e avaliar dados e situações da umidade do solo com o objetivo de monitorar o ambiente e automatizar os sistemas de irrigação.

Referências

- AL-FUQAHA, A. *et al.* Internet of things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. *Communications Surveys & Tutorials*, IEEE, 17(4):2347–2376, 2015.
- ABID, A.; KACHOURI, A.; MAHFOUDHI, A. Anomaly Detection in WSN: critical study with new vision. *International Conference on Automation, Control, Engineering and Computer Science (ACECS'14) Proceedings*, p. 1–9, 2014.

- BALDAUF, M.; DUSTDAR, S.; ROSENBERG, F. A survey on context-aware systems. *International Journal of Ad Hoc and Ubiquitous Computing*, v. 2, n. 4, p. 263, 2007.
- BISDIKIAN, C.; KAPLAN, L. M.; SRIVASTAVA, M. B. On the Quality and Value of Information in Sensor Networks. *ACM Transactions on Sensor Networks (TOSN)*, v. 9, n. 4, p. 1–26, 2013.
- COSTA, P. D. *et al.* Rule-Based Support for Situation Management. *In: ROGOVA, G.; SCOTT, P. (Eds.). Fusion Methodologies in Crisis Management*. Cham: Springer International Publishing, 2016. p. 341–364.
- DEY, A. K. Understanding and using context. *Personal and Ubiquitous Computing*, v. 5, n. 1, p. 4–7, 2001.
- FAWZY, A.; MOKHTAR, H. M. O.; HEGAZY, O. Outliers Detection and Classification in Wireless Sensor Networks. *Egyptian Informatics Journal*, v. 14, n. 2, p. 157–164, 2013.
- GUO, H. *et al.* A Flexible Framework for Assessing the Quality of Information in Wireless Sensor Networks. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, v. 2015, p. 1–15, 2015.
- MIORANDI, D. *et al.* Internet of things: Vision, applications and research challenges. *Ad Hoc Networks*, v. 10, n. 7, p. 1497–1516, 2012.
- MOREIRA, J. L. R. *et al.* Ontology-driven Conceptual Modeling for Early Warning Systems : Redesigning the Situation Modeling Language. n. *Modelsward*, p. 467–477, 2015.
- NISHA, U. B. *et al.* Statistical Based Outlier Detection in Data Aggregation for Wireless Sensor Networks. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, v. 59, n. 3, p. 770–780, 2014.
- OLIVEIRA, E. C. DE. Comparação das diferentes técnicas para a exclusão de “outliers”. *Metrologia*, 2008.
- PEREIRA, I. S. A.; COSTA, P. D.; ALMEIDA, J. P. A. A rule-based platform for situation management. *IEEE International Multi-Disciplinary Conference on Cognitive Methods in Situation Awareness and Decision Support (CogSIMA)*. Anais. IEEE, fev. 2013.
- SACHIDANANDA, V. *et al.* Quality of Information in Wireless Sensor Networks : A Survey. *Proceedings of the 15th International Conference on Information Quality (ICIQ-2010)*, v. 1, p. 1–15, 2010.
- SU, L. Resource Efficient Information Integration In Cyber-Physical Systems. [s.l.] Universidade de Illinois, Urbana-Champaign, 2013.
- YANG ZHANG; MERATNIA, N.; HAVINGA, P. Outlier Detection Techniques for Wireless Sensor Networks: A Survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, v. 12, n. 2, p. 159–170, 2010.
- ZHOU, P. *et al.* Wireless sensor network based monitoring system for a large-scale indoor space: Data process and supply air allocation optimization. *Energy and Buildings*, v. 103, p. 365–374, 2015.

Sistema Mobile para Localização Indoor usando Tratamento de Posição e Correção de Rota

César D. Silva¹, Karin S. Komati¹, Daniel R. Trindade¹

¹Coordenação de Informática – Instituto Federal do Espírito Santo (Ifes) Campus Serra
Rodovia ES-010 – Km 6,5 – Manguinhos – CEP: 91.501-970 – Serra – ES – Brazil

cesardickdasilva@gmail.com, {kkomati, danielrt}@ifes.edu.br

Abstract. *Indoor positioning systems aims to indicate the location of a device indoors, where the GPS signal is weak or even non-existent. This work presents a system capable of determining the position and trajectory of a user in indoor environments using the magnetometer and step sensors. The system also corrects the position and trajectory originally obtained. Two strategies were used to determine the position: the first using only the GPS signal and the second using a combination of sensors of a cell phone. Also, the original data from the sensors were compared with the data after the correction of position and trajectory were made. The tests were performed in the first floor of a building composed by open and closed areas. The best results were achieved when using the magnetometer and step sensors.*

Resumo. *Sistemas de localização indoor tem como objetivo indicar a localização de um dispositivo em locais fechados, onde o sinal de GPS é fraco ou inexistente. Esse trabalho apresenta uma implementação de sistema de localização indoor capaz de determinar a posição e trajetória de um usuário em ambientes indoor usando uma combinação do sensor magnetômetro e do contador de passos de um celular. Também é feito um tratamento de posição e correção de rota dos dados dos sensores. Nos experimentos, comparou-se uma versão do sistema usando apenas o sensor GPS e uma versão com o uso dos sensores. Além disso, foram comparados os dados brutos dos sensores com a posição e trajetória tratadas. O estudo de caso foi feito no primeiro andar de um prédio com partes externas e internas. Os resultados mais próximos do percurso dos usuários foram obtidos com o uso dos sensores.*

1. Introdução

Um aplicativo de geolocalização projetado para ser utilizado em ambientes abertos é classificado como sistema de posicionamento outdoor, ou seja, aplicações de geolocalização para serem utilizadas fora de construções [Carrasco-Letelier, 2015], cujo sensor mais popular é o GPS (*Global Positioning System*).

Já nos sistemas de posicionamento indoor, o objetivo é conhecer a localização ou trajetória do usuário quando este se encontra em um ambiente fechado, por exemplo, dentro de uma construção. Velasco (2014) cita vários exemplos de aplicações de sistemas de localização indoor. Um desses é determinar a posição exata de todos os médicos dentro do hospital e com isso, acelerar o atendimento em uma emergência médica.

Para as aplicações indoor o sensor GPS não é tão adequado, uma vez que o sinal é atenuado e disperso por telhados, paredes e outros objetos. Dessa forma, são utilizadas outras técnicas, que vão desde o uso de ondas de rádio a campos magnéticos e sinais acústicos [Curran et al., 2011]. Uma possível solução seria o uso de antenas Bluetooth, como apresentado por Bekkelien (2012): várias antenas são espalhadas por um edifício e a posição exata de cada uma deve ser registrada para que o sistema utilize esta posição como referência. A força do sinal é usada para calcular a distância do dispositivo para a antena Bluetooth, inferindo assim a posição do usuário. Um obstáculo na solução descrita é a necessidade de dispositivos externos espalhados, que elevam o custo de implantação de acordo com o tamanho da área a ser coberta.

Outras abordagens são encontradas como a utilização de antenas de wi-fi apresentadas por Hu (2013) e Liu e colegas (2007), e a utilização de transmissores de rádio frequência (RFID - *Radio-Frequency IDentification*) defendidas por Fabini, Russ e Wallentin (2013), e Randell e Muller (2001). Porém essas técnicas também apresentam os problemas levantados quanto à aquisição de equipamentos. Uma solução para este problema é o uso de sensores presentes em dispositivos móveis como celulares, como proposto por Stockx, Hecht e Schöning (2014).

Este trabalho apresenta uma implementação para o problema de posicionamento indoor, capaz de fornecer tanto a posição de um usuário quanto sua trajetória em ambientes internos. Para isso são usados o sensor magnetômetro e o contador de passos disponíveis em celulares no mercado. O sistema permite o cadastro de informações do ambiente a ser considerado, necessárias para as estratégias posicionamento desenvolvidas.

2. Desenvolvimento

O sistema desenvolvido possui dois módulos (Figura 1): o Módulo Servidor, composto pelo servidor web que permite o monitoramento do deslocamento dos celulares, a edição de elementos do mapa e o gerenciamento dos usuários; o Módulo Mobile é uma aplicação para dispositivos móveis desenvolvida para Android, responsável por obter a posição do usuário e enviar esta posição para o servidor. No Módulo Mobile é possível escolher a estratégia de captura de posição: GPS ou conjunto de sensores.

A edição dos elementos do mapa inclui telas para Cadastro de Salas, Corredores e Visualizador de Posições, e utiliza a biblioteca do Google Maps para exibição [Google, 2016]. Através dessa biblioteca, o sistema cria pontos e linhas no mapa baseado em coordenadas de latitude e longitude. Isso permite a correta projeção das posições, independentemente de tamanho ou resolução. Além disso, a biblioteca permite a projeção de imagens georreferenciadas sobre o mapa. Esse recurso é utilizado para exibição da planta do edifício, de modo que um usuário consiga identificar o local onde outros usuários estão.

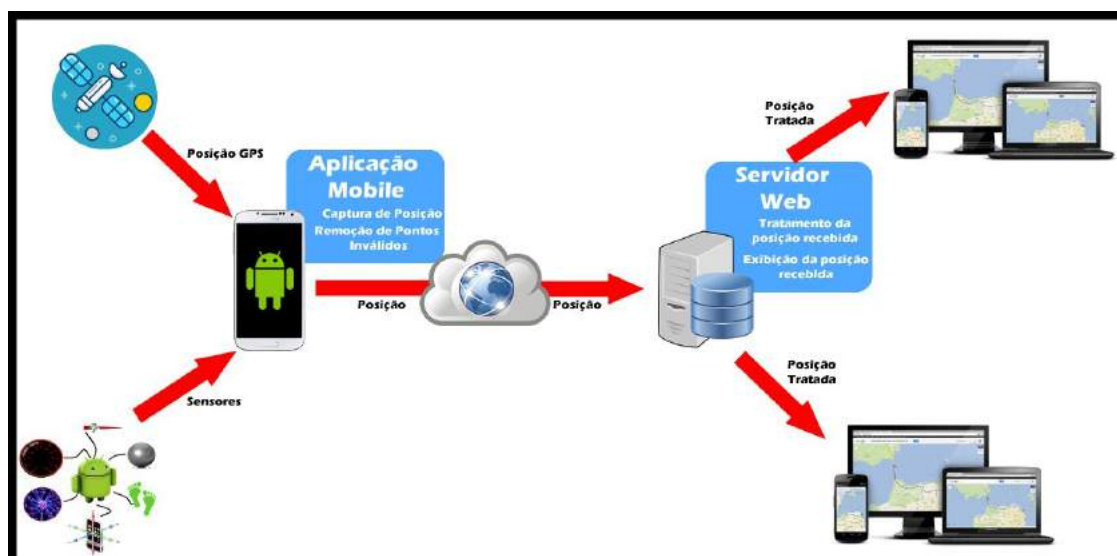


Figura 1. Arquitetura do sistema.

Na tela Cadastro de Corredores foi desenvolvido ainda um editor de grafos baseado no Google Maps. Este editor permite informar vértices e arestas que, quando conectados, criam uma representação em grafo dos corredores de um edifício. É possível mover estes vértices livremente e excluí-los. A Figura 2 apresenta o primeiro andar de um edifício, o qual foi utilizado como ambiente de testes neste trabalho, com as salas, corredores e o grafo resultante. As áreas verdes são jardins sem cobertura (área aberta) e apenas uma parte dos corredores possui cobertura do tipo telhado colonial.



Figura 2. Prédio do ambiente de testes com os corredores e salas mapeados.

1.1 Tratamento de Posição e Rota

O sistema permite que a posição seja obtida tanto através do sinal GPS quanto dos sensores do celular e é possível escolher entre essas duas opções na aplicação móvel. Quando utilizado o GPS, a aplicação envia ao servidor a posição obtida diretamente pelo sinal GPS. No caso de uso dos sensores, a posição é calculada antes de ser enviada ao servidor através dos sensores de passos e magnetômetro. Isso é feito da seguinte forma:

1. Primeiramente é estabelecida uma posição inicial, que será usada como referência. Essa posição é configurada pelo usuário manualmente. Portanto, assume-se que, ao menos no início, o usuário deve ser capaz de informar corretamente sua posição;
2. Através do sensor de passos é calculada a distância percorrida pelo usuário, tomando a posição inicial como referência. O sensor de passos está presente em celulares mais recentes e fornece o número de passos dados pelo usuário. A aplicação mobile permite que o tamanho do passo seja configurado. Assim, a distância percorrida é igual ao número de passos multiplicado pelo tamanho do passo.
3. A direção é calculada através do sensor de magnetômetro. Neste trabalho considerou-se que a orientação do celular é fixa. Dessa forma, a orientação pode ser calculada tomando como referência o norte magnético.

Nos dois métodos utilizados foram detectados problemas em relação aos dados da posição e trajetória obtidos. A Figura 3 ilustra esses problemas: na região A, por imprecisão dos sensores, as posições detectadas não são válidas uma vez que o usuário está andando e a trajetória resultante indica que ele teria atravessado paredes. Já a região B indica outro problema, no qual o servidor ficou um tempo considerável sem receber atualizações de posição por parte do cliente mobile. Neste caso, uma trajetória inválida é traçada entre os pontos. Para tratar esses problemas foram usadas duas estratégias, ambas implementadas no servidor: a primeira para corrigir possíveis posições inválidas e a segunda para tratamento da trajetória.



Figura 3. Problemas decorrentes da obtenção de posições (A) e de cálculo de trajetória (B).

A Figura 4 ilustra como é feita correção de posição. Ao detectar uma posição inválida, é calculado o ponto mais próximo da posição fornecida e que esteja localizado sobre um dos vértices ou arestas do grafo correspondente ao ambiente.

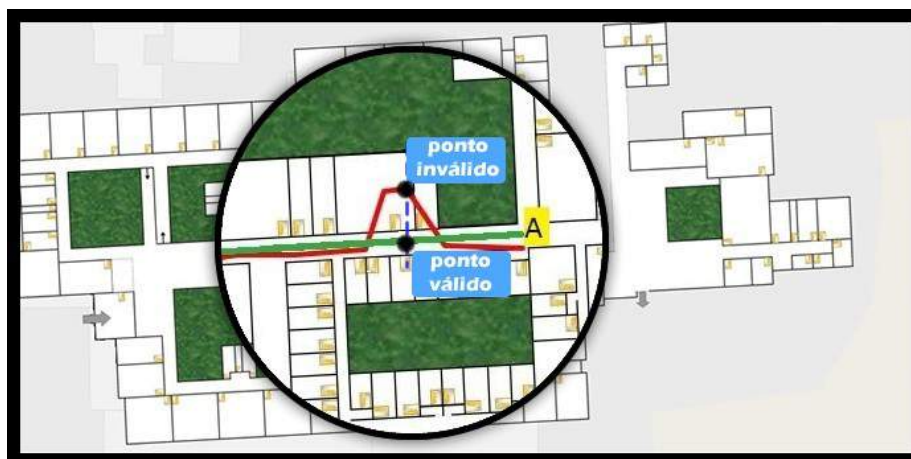


Figura 4. Correção de posição, mostrando o ponto inválido e a correção para um ponto válido, no corredor.

O tratamento da trajetória é realizado após as correções de posições. Para isso é utilizado o algoritmo de Dijkstra [Dijkstra, 1959]. Tomando como entrada o grafo que corresponde ao mapeamento de corredores do ambiente e os pontos inicial e final, o algoritmo calcula o menor caminho entre esses pontos. No exemplo mostrado aqui (Figura 5), o algoritmo é usado para calcular o menor caminho entre os vértices B e C. O resultado é a trajetória que vai do vértice B até o A e depois de A até C, resultando na trajetória corrigida. A trajetória inicial é mostrada em vermelho e a trajetória corrigida é alterada para a reta em verde.

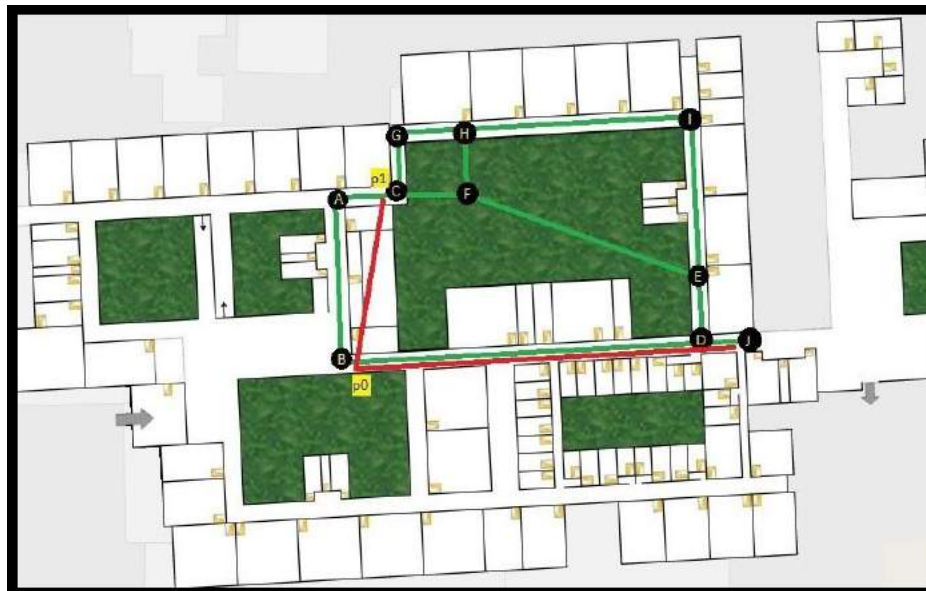


Figura 5. Grafo do mapeamento dos corredores em verde e trajetória inicial em vermelho.

3. Experimentos, Resultados e Discussão

Para os experimentos, utilizou-se o aparelho telefônico da marca Samsung Galaxy S4. Foram traçadas 3 (três) diferentes rotas (Figura 6), e para cada rota armazenou-se o resultado do sistema (rota traçada) usando apenas o GPS ou o uso dos sensores, totalizando 6 (seis) diferentes resultados.

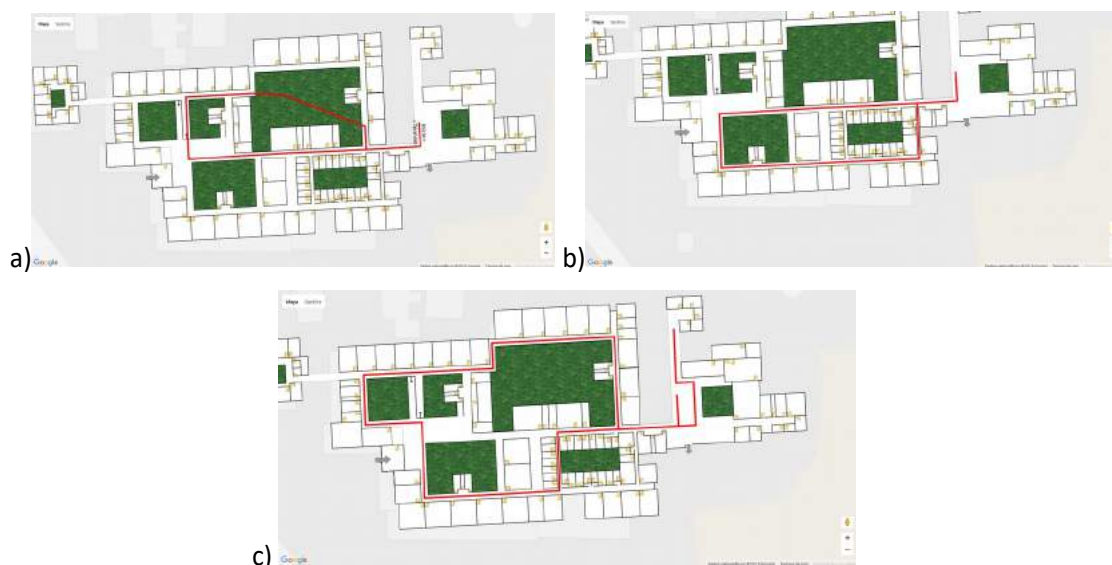


Figura 6. Rotas utilizadas nos testes, na ordem: a) rota 1, b) rota 2 e c) rota 3.

A rota 1 foi planejada para que uma parte do caminho atravessasse uma grande área de jardim (área verde), que oferece ao dispositivo uma visão clara do céu e permite que o dispositivo obtenha um bom sinal de GPS durante sua travessia; em seguida o caminho avança para uma área fechada e que possui andar superior. A rota 2 foi selecionada para atravessar uma área com vários corredores se cruzando. A rota 3 foi planejada para que apresentasse o maior trajeto.

Cada uma dessas rotas foi percorrida 3 (três) vezes, e cada repetição feita em um dia diferente com condição climática diferente. Isso serviu para avaliar se haveria mudança nos resultados com apenas o uso do GPS. No entanto, não ocorreram diferenças significativas.

3.1 Resultados da Rota 1

As Figuras 7 e 8 apresentam respectivamente os resultados com a correção de posição e trajetória para a Rota 1. Em cada figura, a trajetória na cor azul representa o resultado sem a aplicação de nenhuma correção, enquanto que as trajetórias vermelhas (GPS) e pretas (Sensores) indicam os resultados com correção.

Como se pode observar na Figura 7, o sinal GPS apresenta bons resultados nas áreas abertas de jardins (em verde), mas piora quando o usuário caminha pelos ambientes internos. Através da correção de posição foi possível melhorar esse resultado, mas ainda assim não houve melhora significativa para as áreas internas. Já a posição obtida através dos sensores forneceu um resultado melhor, se aproximando bastante do traçado real.

A Figura 8 mostra o resultado com a correção de trajetória. Percebe-se que foi possível, tanto com o GPS ou sensores, obter uma trajetória muito próxima do real, independente de possíveis falhas de obtenção do sinal GPS ou perda de comunicação entre a aplicação mobile e o servidor.



Figura 7. Rota 1 com a aplicação da correção de posição. À esquerda foi utilizado o sinal GPS para obter a posição. À direita foram usados os sensores de passo e magnetômetro.



Figura 8. Rota 1 com a aplicação da correção de trajetória. À esquerda foi utilizado o sinal GPS para obter a posição. À direita foram usados os sensores de passo e magnetômetro.

3.2 Resultados da Rota 2

As Figuras 9 e 10 apresentam respectivamente os resultados com a correção de posição e trajetória para a Rota 2. Em cada figura, a trajetória na cor azul representa o resultado sem a aplicação de nenhuma correção, enquanto que as trajetórias vermelhas (GPS) e pretas (Sensores) indicam os resultados com correção.

Os resultados são similares aos obtidos na Rota 1. Aqui cabe destacar que a Rota 2, diferente da Rota 1, passa por poucos lugares abertos e, devido a isso, o sinal de GPS é mais fraco. Isso contribui para que, mesmo após a correção da posição, a trajetória resultante para o GPS contenha mais erros do a trajetória obtida através dos sensores.

Como mostra a Figura 10, após a aplicação da correção da trajetória foi possível chegar a resultados próximos do real. Entretanto, na trajetória final referente ao sinal GPS há alguns momentos em que o sistema indica, erroneamente, que o usuário entrou por um momento em um corredor.



Figura 9. Rota 2 com a aplicação da correção de posição. À esquerda foi utilizado o sinal GPS para obter a posição. À direita foram usados os sensores de passo e magnetômetro.



Figura 10. Rota 2 com a aplicação da correção da trajetória. À esquerda foi utilizado o sinal GPS para obter a posição. À direita foram usados os sensores de passo e magnetômetro.

3.3 Resultados da Rota 3

As Figuras 11 e 12 apresentam respectivamente os resultados com a correção de posição e trajetória para a rota 3. Em cada figura, a trajetória na cor azul representa o resultado sem a aplicação de nenhuma correção, enquanto que as trajetórias vermelhas (GPS) e pretas (Sensores) indicam os resultados com correção.

Na Rota 3 o sinal do GPS teve um desempenho melhor em relação às Rotas 1 e 2. Já a posição obtida com a combinação de sensores apresentou um erro maior em relação à rota original. Isso ocorre devido ao erro acumulado pelo sensor de passos. Como mencionado antes, o sensor de passos depende da correta configuração do tamanho do passo do usuário. Portanto, se o usuário tiver passos mais longos (ou mais curtos), a tendência é que o erro aumente para caminhos mais longos.

No geral, em todas as três rotas, o resultado medido com o conjunto de sensores obteve uma precisão superior ao GPS. Após a correção da trajetória foi possível obter resultados similares tanto com o GPS quanto com o uso de sensores. Entretanto, o uso de sensores se mostra uma solução mais promissora, tanto pela maior precisão na obtenção da posição quanto pelo fato de consumir menos bateria, este último um aspecto muito relevante quando são usados dispositivos móveis.



Figura 11. Rota 3 com a aplicação da correção de posição. À esquerda foi utilizado o sinal GPS para obter a posição. À direita foram usados os sensores de passo e magnetômetro.



Figura 12. Rota 3 com a aplicação da correção da trajetória. À esquerda foi utilizado o sinal GPS para obter a posição. À direita foram usados os sensores de passo e magnetômetro.

4. Considerações Finais

Os resultados mostraram que a combinação de sensores conseguiu gerar resultados mais precisos que as posições obtidas apenas com a utilização do GPS no ambiente analisado. Também foi possível verificar que o resultado com sensores do celular se mostrou uma solução promissora com baixo custo, além do fato de que o consumo de bateria da combinação de sensores se mostrou muito inferior ao consumo registrado na utilização do GPS. Entretanto, o uso do sensor de passos depende da correta configuração do tamanho do passo do usuário.

Como trabalhos futuros, espera-se desenvolver uma estratégia híbrida de captura de posição que utilize o sinal GPS quando disponível e os sensores quando o sinal dos satélites não possuir uma precisão adequada, aproveitando a qualidade das duas estratégias. Pretende-se ainda incluir técnicas para correção de posição usando informações referentes à planta baixa do prédio, por exemplo, o uso de regras para impedir que uma pessoa atravessasse paredes que não tenham portas. É preciso também modificar o cálculo da direção para que funcione no caso em que a orientação do celular muda com frequência. E por último, implementar técnicas para determinar

automaticamente o tamanho do passo do usuário, com o objetivo de eliminar o erro cumulativo do sensor de passos.

Referências

- Bekkelien, Anja. (2012) “Bluetooth Indoor Positioning”. 56 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência da Computação, University Of Geneva, Geneva.
- Carrasco-Letelier, Leonidas. (2015) Smart phones and Tablets as Scientific Tools for Geo referencing Measurements. Em: International Journal Of Engineering Trends and Technology (IJETT). Colonia, pag. 5–11, junho.
- Curran, K., Furey, E., Lunney, T., Santos, J., Woods, D. and McCaughey, A. (2011) An Evaluation of Indoor Location Determination Technologies. Em: Journal of Location Based Services. Vol. 5, no. 2, pag. 61-78, junho.
- Dijkstra, E. W. (1959) A note on two problems in connexion with graphs. Numerische Mathematik, [s.l.], v. 1, n. 1, pag. 269–271, dez. Em: Springer Nature.
- Fabini, Joachim; Rus, Reinhard; Wallentin, Lukas. (2013) “Architecture and Prototypical Realization of NFC-based Indoor Positioning with Android and Google Maps”. 17 f. Institute Of Telecommunications, Vienna.
- GOOGLE. (2016) “Getting Started With Maps”. Disponível em: <<https://developers.google.com/maps/documentation/javascript/?hl=pt-br>>. Acesso em: 12 mar. 2017.
- Hu, Bin. (2013) “Wi-Fi Based Indoor Positioning System Using Smartphones”. 91 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência Aplicada, Royal Melbourne Institute Of Technology, Melbourne.
- Liu, H., Darabi, H., Banerjee, P., Liu, J. (2007). Survey of Wireless Indoor Positioning Techniques and Systems, Em: IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews), vol. 37, no. 6, pp. 1067-1080, novembro.
- Randell, C., Muller, H. (2001) “Low Cost Indoor Positioning System”. Em: Abowd G.D., Brumitt B., Shafer S. (eds) Ubicomp 2001: Ubiquitous Computing. UbiComp 2001. Lecture Notes in Computer Science, vol 2201. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Stockx, T., Hecht, B., and Schöning, J. (2014). “SubwayPS: Towards Smartphone Positioning in Underground Public Transportation Systems”. Em: Proceedings of the 22nd ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems, pag. 93–102, novembro.
- Velasco, Alberto Díaz. (2014) “Indoor Positioning using Android Platform”. 36 f. TCC (Graduação) - Curso de Sistemas de Informação, Blekinge Tekniska Högskola (BTH), Karlskrona, Suécia.

Gerenciamento Térmico e Elétrico de um Centro de Dados utilizando Sensoriamento IoT

Antonio Rafael Braga, Felipe Anderson O. Maciel, Rodrigo L. A. Almeida *,
Paulo A. C. Aguiar, Danielo G. Gomes[†], Rossana M. C. Andrade[‡]

¹Grupo de Redes de Computadores, Engenharia de Software e Sistemas (GREat)
Universidade Federal do Ceara (UFC) – Campus do Pici – Bloco 942-A
Av. Mister Hull, s/n – 60455-760 – Fortaleza – CE – Brasil

{antoniobraga, felipemaciel, rodrigoalmeida}@great.ufc.br

{pauloaguiar, danielo, rossana}@great.ufc.br

Abstract. *The advancement of the Internet of Things (IoT) has enabled greater efficiency in monitoring environments, allowing a better management and discovery of the conditions where the application is inserted. This feature is useful for monitoring High Performance Computing (CAD) environments that require tight control of local conditions. The environment management has become essential with the popularization of Cloud Computing, since an inoperative environment is a critical problem. This work presents a thermal and electrical control system for CAD environments using IoT. The system monitors the temperature, humidity and electrical power supply of the data center room.*

Resumo. *O avanço da Internet das Coisas (IoT) possibilitou uma maior eficiência no monitoramento de ambientes, permitindo um melhor gerenciamento e descoberta das condições onde a aplicação está inserida. Essa característica é útil para monitorar ambientes de Computação de Alto Desempenho (CAD), que precisam de um controle rígido das condições do local. A gerência desses ambientes tornou-se algo essencial com a popularização da Computação em Nuvem, pois a inoperância desses ambientes é problema crítico. Neste trabalho, apresentamos o GREat Data Center (GDC), um sistema IoT de gerenciamento térmico e elétrico de ambientes de CAD. O sistema monitora temperatura, umidade e fornecimento de energia elétrica da sala de um data center.*

1. Introdução

A Internet das Coisas (IoT) é um paradigma cujo objetivo é conectar diferentes objetos, sendo eles físicos ou virtuais à Internet de modo que interajam e troquem informações entre si de forma autônoma, a fim de atingir um objetivo comum [García et al. 2014]. Dentre os muitos objetivos que pode-se atingir com a IoT é possível destacar a melhoria em processos de produção de alimentos, na produção e distribuição de energia e no monitoramento de ambientes [Borgia 2014] [da Silva et al. 2016] [Carvalho et al. 2015]. No caso do monitoramento de ambientes, demos destacar o monitoramento de casas, veículos, cidades, plantações e centros de dados.

*Bolsista da Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura

[†]Bolsista de Produtividade CNPq em Pesquisa (PQ-2)

[‡]Bolsista de Produtividade CNPq em Desenvolvimento Tecnológico (DT-2)

O uso dos centros de dados em organizações públicas ou privadas se intensificou nos últimos anos, principalmente após a popularização da Computação em Nuvem. Consequentemente, o monitoramento desses ambientes tornou-se algo essencial, haja vista que a inoperância desses ambientes passou a ser visto como um problema crítico. A inoperância pode ocorrer devido a falha de equipamentos, problemas de configuração, aumento na demanda de usuários ou até mesmo devido a falta de fornecimento de energia elétrica [Lu et al. 2016]. Nesse último caso, passa a existir também o risco de prejuízos financeiros devidos a quebra ou desgaste de equipamentos [Chen et al. 2014].

Outro problema que afeta um centro de dados é a falha no sistema de refrigeração dos locais onde os equipamentos estão inseridos. A instabilidade e imprecisão no serviço de refrigeração é prejudicial, pois aumenta a probabilidade de quebra de discos rígidos, de erro na escrita e leitura de dados nos discos rígidos e memória RAM [El-Sayed et al. 2012]. Por isso, a redundância e monitoramento desses serviços é fundamental [Liu et al. 2016]. Contudo, curiosamente, o gerenciamento térmico e de fornecimento de energia elétrica muitas vezes é negligenciado, de tal sorte que muitas vezes não se tem dispositivos para monitoramento remoto desses serviços [El-Sayed et al. 2012].

Diante dessa problemática, este trabalho propõe o GREat Data Center (GDC), um sistema de monitoramento em IoT que busca resolver alguns dos principais problemas enfrentados no monitoramento de ambientes de centros de dados. Para auxiliar no desenvolvimento do GDC foram traçadas as seguintes questões: *(Q1) Como coletar dados de um ambiente de centro de dados de modo eficiente? (Q2) Como disponibilizar essas informações de modo escalável, interoperável e seguro? (Q3) Como tornar as informações coletadas de fácil utilização e intuitivas?* Essas questões tem como objetivo auxiliar no desenvolvimento do GDC de forma a manter o foco em temas significativos para um sistema de monitoramento de um centro de dados.

Este artigo está organizado da seguinte maneira: na Seção 2, são listados os trabalhos relacionados; na Seção 3, é apresentado e discutido o GDC. O detalhamento da arquitetura utilizada é feito na Seção 3.1, onde a questão *Q2* foi tratada através do uso da Computação em Nuvem. Na Seção 3.2 é apresentada a aplicação móvel desenvolvida que trata sobre a questão *Q3*. A coleta de dados no GDC é detalhada na Seção 3.3, onde a questão *Q1* foi tratada com o uso de políticas e o uso de um formato leve para representação dos dados, o JSON; na Seção 4, apresentamos a avaliação realizada; e finalizamos na Seção 5 com nossas conclusões e trabalhos futuros.

2. Trabalhos Relacionados

Em [Ramos and Bianchini 2008], os autores apresentam um sistema chamado C-Oracle que realiza o gerenciamento térmico de um ambiente de centro de dados. O C-Oracle propõe políticas para identificação de emergências térmicas. Em sua principal política, os autores fazem uma verificação sobre os estados de utilização do centro de dados em relação ao processamento e armazenamento. A partir disso, a política proposta realiza balanceamento de carga a fim de diminuir a carga nos servidores mais quentes. Diferente disso, nosso trabalho utiliza também dados do ambiente do centro de dados para realização do gerenciamento térmico, identificando situação de provável pane no sistema de refrigeração ou de fornecimento de energia elétrica e realizando a notificação dos administradores do centro de dados.

Outro trabalho que aborda um tema semelhante é o desenvolvido por [Liu et al. 2016]. Nesse estudo, os autores propõem um sistema inteligente de sensoriamento e controle de temperatura de *data centers* com foco na eficiência energética. O sistema faz o monitoramento interno e externo do ambiente do *data center*. Esse duplo monitoramento permite que o sistema habilite um sistema de ventilação que faz o ar gelado natural circular pelo interior do *data center* quando os parâmetros de temperatura e umidade forem pertinentes. Com isso, é possível desligar algumas máquinas de ar condicionado, realizando um sistema de resfriamento energeticamente eficiente. No entanto, esse tipo de abordagem nem sempre é praticável, já que algumas regiões do planeta possuem altas temperaturas durante todo o ano ou em longos períodos de tempo.

Em [Chen et al. 2014], os autores apresentam o *design* e avaliação do sistema PTEC, um sistema de previsão de controle térmico e energético em centro de dados. O foco do estudo é verificar se o PTEC consegue realizar de maneira eficiente o monitoramento do centro de dados com um baixo custo no uso do sistema de resfriamento e de energia. O sistema coleta os dados tanto dos ventiladores dos servidores, quanto do ar condicionado e verifica se as informações tanto de temperatura quanto de consumo de energia estão dentro de uma margem de segurança para o centro de dados. A partir da coleta das informações e da manipulação das informações pelas camadas da arquitetura do PTEC é feita a gestão da temperatura e do consumo de energia do *data centers*. A avaliação do sistema é realizada por meio de simulação para verificar a eficiência e a escalabilidade do PTEC. A avaliação do PTEC atingiu bons resultados quanto ao desempenho e ao consumo de energia do sistema.

O uso de componentes difundidos no domínio da IoT, como plataformas de prototipagem rápida, em sistemas de monitoramento não é algo inédito. Os principais obstáculos para que essas plataformas se tornem uma força de transformação nos domínios de engenharia, científico e comercial consistem na sua falta de confiabilidade, flexibilidade, escalabilidade, interoperabilidade e na dificuldade de implantação, operação e manutenção a longo prazo [Ferdoush and Li 2014]. O sistema apresentado por [Ferdoush and Li 2014] tenta solucionar esses problemas através de uma rede de sensores sem fio desenvolvida com Arduino, Raspberry Pi e com XBee. Os autores defendem que esse sistema possui um baixo custo de implantação e é altamente escalável tanto em relação aos tipos de sensores, quanto em relação à quantidade de nós sensores.

Os trabalhos listados nesta seção tem como propósito realizar o monitoramento do ambiente no qual um centro de dados está inserido. Porém, uma das diferenças do nosso trabalho em relação aos listados é definição do *status* do ambiente à partir da verificação das condições das grandezas ambientais, tais temperatura e umidade, e do gerador de energia elétrica, com a verificação do funcionamento do mesmo em casos em que o seu uso seja necessário. Os trabalhos mencionados não fazem esse tipo de verificação devido a limitações das soluções proposta e não por limitação técnica. Além disso, outra preocupação deste estudo é a verificação das informações fornecidas pelos sensores. Para isso, é feita uma triangulação dos dados captados do ambiente através de uma verificação das mudanças das grandezas ambientais em pontos distintos do ambiente. Assim, obtemos mais controle sobre as condições do local monitorado e a possibilidade de prever eventos inesperados onde o centro de dados está inserido. Os trabalhos relacionados não fazem a verificação das informações por uma decisão de projeto.

3. GREat Data Center (GDC)

O Great Data Center foi desenvolvido com base nas questões apresentadas na introdução deste estudo. A partir delas foi realizada a elaboração da arquitetura do GDC, assim como a modelagem e a elaboração da interface do GDC. Além disso, foi elaborada a política de leitura de dados do ambiente e o algoritmo de definição do status do ambiente. Todos os componentes do GDC são descritos a seguir.

3.1. Arquitetura do GDC

A arquitetura do GDC, representada na Figura 1, é composta por quatro elementos principais: Sensores, *Gateway*, *Cloud* (Banco de dados e *Web App*) e Aplicação móvel.

Os sensores coletam os dados de temperatura e umidade do ambiente da sala do *data center*, bem como a tensão de dois pontos da rede elétrica. Um dos pontos é contemplado pelo grupo gerador e o outro não. A estratégia de sensoriamento será detalhada na subseção 3.3.

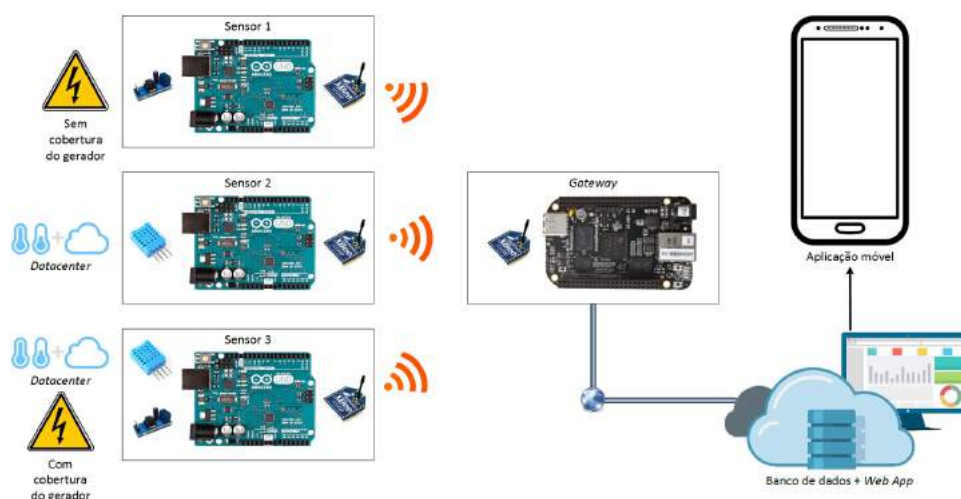


Figura 1. Arquitetura do GREat Data Center.

Os sensores são integrados a kits Arduino, que são equipados com um módulo de rádio XBee.

Os dados obtidos pelos sensores são transmitidos através do protocolo ZigBee para uma placa BeagleBone, que exerce a função de *gateway*. O *gateway* tem como objetivo centralizar os dados coletados. Optou-se por utilizar o ZigBee devido ao seu reduzido consumo energético para transmissão de dados¹. No GDC, o *gateway* tem limitações de processamento, armazenamento e energia.

Nesse cenário, a Computação em Nuvem surge como uma solução para realizar o processamento e armazenamento de forma escalável, além de suprir questões de segurança e controle de acesso. Dessa forma, o *gateway* se comunica com a Nuvem através da pilha de protocolos TCP/IP. O servidor em Nuvem analisa e armazena os dados.

Após o processamento dos dados, as informações geradas são fornecidas aos usuários através de um aplicativo Android.

¹<http://www.zigbee.org/>

3.2. Modelo de Aplicação do GDC

A modelagem do GDC foi feita através do diagrama de casos de usos de acordo com as orientações presentes em [Bezerra 2006]. Conforme os tipos de atores descritos por [Bezerra 2006], o diagrama de casos de usos do GDC possui quatro atores: sensor, *gateway*, administrador e usuário. Cada ator tem uma função relevante em determinada parte do sistema. Por exemplo, o usuário e o administrador tem uma atuação mais relacionada a aplicação móvel, enquanto o sensor está mais relacionado ao subsistema de comunicação. O GDC possui sete casos de uso como demonstrado na Figura 2.

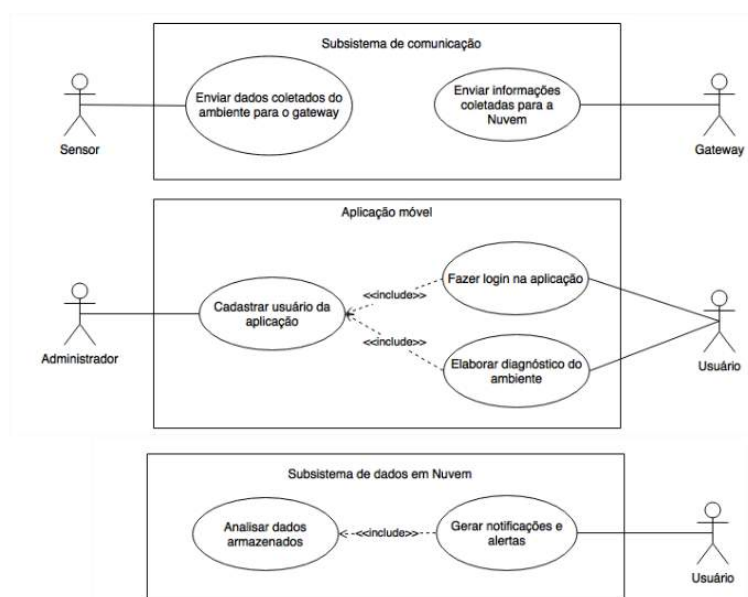


Figura 2. Diagrama de Casos de uso do GREAt Data Center.

Através do diagrama de casos de uso na Figura 2, podemos ter uma visão das funcionalidades que o sistema oferecerá ao usuário. Permitir o acesso a usuários previamente cadastrados, elaborar diagnósticos, notificar o usuário e emitir alertas sobre as condições do ambiente monitorado compõem as principais funcionalidades do GDC descritas no diagrama de casos de uso.

A partir da modelagem do sistema foi possível realizar a elaboração das interfaces do GDC para o aplicativo móvel. A interface do GDC é simples devido a presença de poucos elementos visuais. Além disso, o uso dos ícones, associação de cores a informações apresentadas e legendas propiciam uma compreensão mais eficiente das informações exibidas pelo aplicativo. Essa abordagem é percebida principalmente na tela principal do aplicativo, onde é exibido os *status* do ambiente e os dados de cada sensor. O usuário pode acessar o histórico de medição dos sensores nas últimas 12 e 24 horas. A partir de tal funcionalidade, é possível ao usuário verificar se ocorreu recentemente mudanças bruscas das condições do local monitorado.

Na Figura 3 são apresentadas as principais telas do aplicativo. A figura da esquerda mostra a tela de autenticação do usuário. A figura do meio mostra a gerência dos recursos monitorados, primeiro o status do ambiente, que pode ser seguro, atenção ou alerta. O status é definido através das últimas medições da temperatura, umidade e tensão. Abaixo

do status são apresentadas as últimas medidas das variáveis monitoradas. E na figura da direita é apresentado o histórico das medidas de temperatura.



Figura 3. Principais telas do GREat Data Center.

3.3. Funcionamento do Sistema

A política de coleta de dados do ambiente do GDC possui dois objetivos: (i) reduzir a quantidade de informações enviadas por cada nó sensor a fim de diminuir o consumo energético e (ii) manter a confiabilidade das medições realizadas. A coleta dos dados de interesse é realizada através de sensores conectados a placas de prototipagem rápida Arduino. Os dados de temperatura e de umidade são capturados do ambiente, bem como a presença de tensão na rede elétrica.

A temperatura e a umidade são monitoradas com o intuito de verificar se essas grandezas estão dentro do intervalo ideal determinado pela fabricante dos equipamentos do *data center*. Já a rede elétrica é monitorada para sabermos se o grupo gerador está entrando em funcionamento caso haja uma interrupção no fornecimento de energia. Para isso, monitoramos dois pontos da rede elétrica: um que faz parte da parcela da rede coberta pelo grupo gerador e outro que está fora da cobertura. O monitoramento desses dois pontos está representado pelos Sensores 1 e 3 exibidos na Figura 1. Se houver ausência de tensão nos dois pontos monitorados, saberemos que houve uma interrupção no fornecimento de energia e que o grupo gerador não entrou em funcionamento como deveria.

O sensoriamento dos dados é feito a cada 1 segundo. É importante definir esse intervalo para haver uma economia da energia consumida pelo sensor. Caso contrário, o sensoriamento seria feito na frequência do *clock* do microcontrolador do Arduino, resultando em um alto consumo de energia. Essa é uma das estratégias que contribui para que se cumpra o primeiro objetivo da política.

Após o sensoriamento dos dados, o Arduino envia as informações para o *gateway* através de um módulo de rádio XBee, que utiliza o protocolo de comunicação sem fio ZigBee. O envio das informações é feito quando há alteração nos valores de temperatura ou umidade, ou quando há ausência de tensão na rede elétrica. Essa estratégia de envio e a utilização do protocolo ZigBee, conhecido pela baixa potência de operação, também contribuem para o cumprimento do primeiro objetivo da política. Caso não haja nenhuma alteração nesses parâmetros, as informações são enviadas novamente após um determinado *timeout*, garantindo que a conexão entre o Arduino e o *gateway* esteja sempre ativa.

O segundo objetivo da política é cumprido uma vez que os dados de temperatura e umidade são obtidos por dois sensores distintos, representados pelos Sensores 2 e 3 na Figura 1. Essa redundância na medição converte-se em confiabilidade dos dados. Vale destacar que a precisão do sensor DHT11 foi levada em consideração no tratamento dos dados capturados. Esse sensor possui uma margem de erro de 2°C para temperatura e de 5% para umidade.

As informações coletadas são enviadas para o *Gateway* no formato JSON (*JavaScript Object Notation*). Esse formato foi escolhido por ser leve, de fácil manipulação em diversas linguagens de programação e por permitir a organização das informações de modo estruturado. Cada sensor envia um documento JSON com os dados obtidos.

O *gateway*, ao receber um documento de um dos sensores, apenas armazena o mesmo no banco de dados. Utilizamos um banco de dados baseado em documentos MongoDB². A coleção de cada sensor armazena as últimas medidas alteradas do ambiente e as medidas feitas ao final do *timeout*. Após cada chamada para armazenar um documento, o algoritmo para definição do *status* do ambiente é executado no banco de dados.

Um das principais funcionalidades do sistema é o monitoramento em tempo real das variáveis do ambiente. Essas variáveis monitoradas são processadas a fim de categorizar o *status* do ambiente como SEGURO, ALERTA ou ALARME. O *status* do ambiente é inferido com base nos últimos dados coletados pelos sensores. As medições dos sensores redundantes são comparadas considerando a margem de erro de cada sensor. Para que a medição se torne válida, as medições dos sensores não podem diferir. Caso sejam diferentes, o sistema envia uma mensagem para o administrador informando que há problema na medida dos sensores. Caso as medidas estejam convergindo, então, o algoritmo verifica se o valor lido está dentro da faixa de valores considerados normais (*status* SEGURO) e salva no banco o *status* do ambiente para que a aplicação móvel possa apresentar para o usuário. Caso contrário, salva mensagem informando que o valor obtido pelo sensor está fora do valor aceito como normal para a operação do centro de dados (*status* ALERTA). Se o valor obtido for crítico é emitido um alerta ao usuário. (*status* ALARME)

4. Avaliação

A avaliação desta proposta foi realizada buscando-se analisar o desempenho da aplicação GREat Data Center e verificar os aspectos presentes nas três questões listadas na introdução deste estudo. Para isso observamos as seguintes métricas: uso do processador, memória RAM e rede no *gateway* e tempo para processamento e armazenamento das grandezas monitoradas. Os testes foram executados com três kits Arduínos, um Beaglebone Black com 512 MB de memória RAM e processador com clock de 1 GHz no Centro Nacional de Processamento de Alto Desempenho do Ceará - CENAPAD-CE. Vale destacar que o GDC pode ser implantado em qualquer centro de dados.

Para analisarmos a carga de processamento, o tráfego de dados e a quantidade de memória RAM utilizadas, executamos a aplicação por 8 horas e monitoramos esses parâmetros do sistema através da ferramenta Cacti³. Nesse intervalo de tempo, realizamos

²<https://www.mongodb.com/>

³<http://www.cacti.net/>

8 baterias de teste, cada uma com duração 1 hora. A aplicação foi iniciada por volta das 14:40 horas e executou até 22:40 horas. Foram coletadas 1900 amostras de definição de *status*. Os gráficos gerados pelo Cacti exibem o funcionamento do *gateway* a partir das 13:10 horas para melhor comparação com um período em que a aplicação não estava em execução.

Em relação a carga de processamento, a mesma está representada no gráfico da Figura 4. Percebe-se que a aplicação consome em torno de 20% a mais de processamento normal do *gateway*, o que é aceitável considerando a limitação de recursos do Beagle-Bone. A utilização de memória está representada no gráfico da Figura 5. Consta-se que não houve acréscimo considerável na utilização de memória a partir do início da execução da aplicação.

O tráfego de dados está representado no gráfico da Figura 6. Nota-se que a aplicação aumenta o tráfego de dados em até, no máximo, 15,47 kbits/s, o que é ínfimo para uma rede convencional.

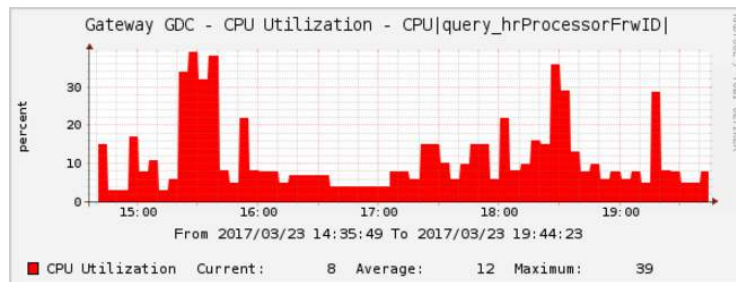


Figura 4. Utilização de CPU durante a execução da aplicação.

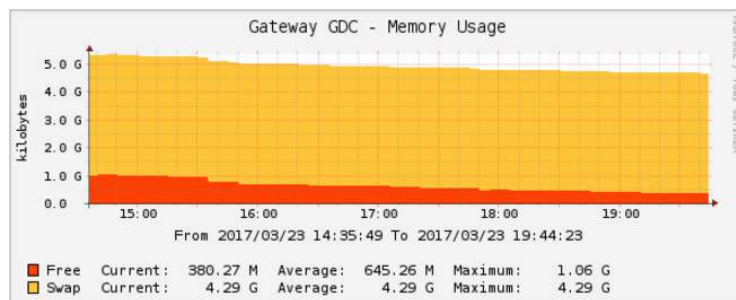


Figura 5. Utilização de memória durante a execução da aplicação.

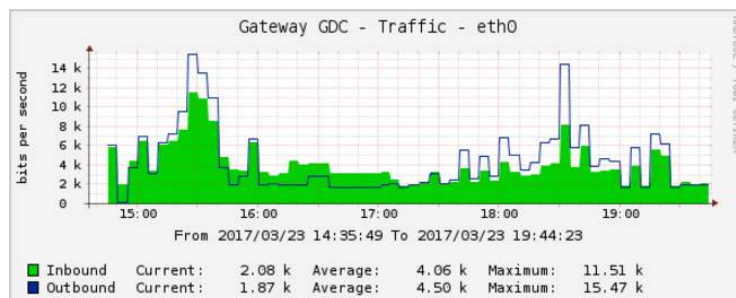
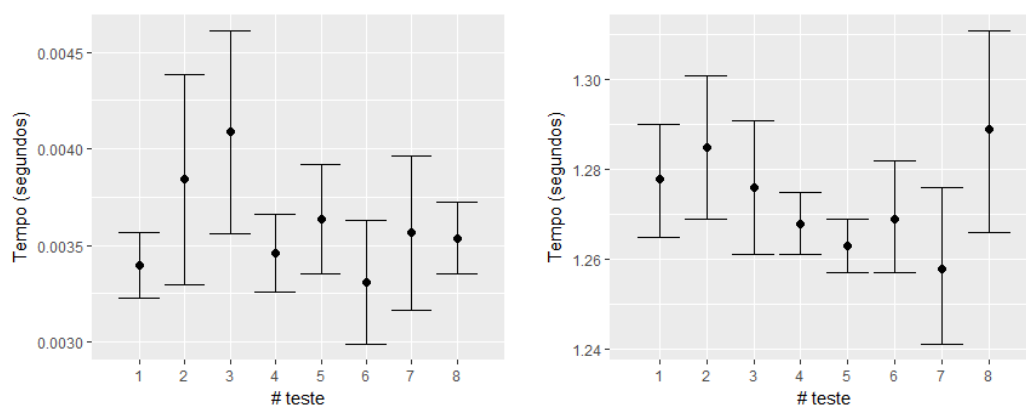


Figura 6. Tráfego de dados durante a execução da aplicação.



(a) Média dos tempos para processamento das informações. (b) Média dos tempos para armazenamento no banco de dados.

Figura 7. Média dos tempos de processamento e armazenamento das grandezas monitoradas.

Os tempos para o processamento e armazenamento das grandezas monitoradas podem ser observados na Figura 7(a) e na Figura 7(b), respectivamente. Foram calculadas as médias dos tempos para cada um dos oito testes realizados, assim como o intervalo de confiança de 95%. Nota-se que os tempos de processamento estão entre 0,0030 e 0,0045 segundos, aproximadamente. Já para o armazenamento, os tempos ficam entre 1,24 e 1,31 segundos, aproximadamente. Esses tempos podem ser considerados satisfatórios, considerando as limitações de recursos do BeagleBone, que processa as informações, e da máquina virtual que hospeda o banco de dados.

A principal contribuição deste trabalho é uma ferramenta de monitoramento para ambientes de centro de dados, utilizando rede de sensores, Computação em Nuvem e um aplicativo móvel. A ideia principal é utilizar os dados gerados pelos sensores para definir um *status* para o ambiente e gerar notificações para o administrador do sistema. A ferramenta monitora temperatura, umidade e tensão elétrica. O uso do formato JSON facilita a inclusão de novas grandezas e torna a coleta de dados mais eficiente (*Q1*). O uso da Computação em Nuvem permite a disponibilização dos dados e informações através de serviços web de modo escalável, interoperável e seguro (*Q2*). A aplicação móvel desenvolvida torna as informações coletadas de fácil utilização e intuitivas (*Q3*).

5. Conclusões e Trabalhos Futuros

Este trabalho apresentou o GREat Data Center, um sistema de monitoramento de centro de dados usando o paradigma de IoT. A partir das questões traçadas, foi possível desenvolver um sistema que apresenta características importantes relacionados a eficiência, segurança e facilidade de uso. A eficiência e segurança do sistema são alcançados a partir das tecnologias utilizadas e da forma de funcionamento do monitoramento que foi desenvolvida. Além disso, a simplicidade e organização das informações na interface podem propiciar uma melhor compreensão do funcionamento do GDC.

Como ponto positivo, destacamos o desempenho do sistema que mostrou-se notável. Como trabalhos futuros, pretende-se realizar a avaliação da proposta quanto aos aspectos como segurança e facilidade de uso. Além disso, outra verificação importante

a ser realizada é quanto à confiabilidade e rapidez de entrega das informações fornecidas pelo sistema ao usuário. Essa verificação é necessária desde o momento em que os dados são coletados pelos sensores até chegar a interface na qual os usuários recebem as informações do sistema. O principal ensinamento que ficou com o desenvolvimento desse trabalho foi que importância do monitoramento do ambiente de centros de dados, que pode ser feita com ferramentas baratas e pode evitar sérios problemas.

Referências

- [Bezerra 2006] Bezerra, E. (2006). *Princípios de Análise e Projeto de Sistemas com UML - 3ª Edição*, volume 3. Elsevier Brasil.
- [Borgia 2014] Borgia, E. (2014). The internet of things vision: Key features, applications and open issues. *Computer Communications*, 54:1 – 31.
- [Carvalho et al. 2015] Carvalho, C. M. A., Rodrigues, C. A. P., Aguilár, P. A. C., de Castro, M. F., Andrade, R. M. C., Boudy, J., and Istrate, D. (2015). Adaptive tracking model in the framework of medical nursing home using infrared sensors. In *2015 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps)*, pages 1–6.
- [Chen et al. 2014] Chen, J., Tan, R., Xing, G., and Wang, X. (2014). Ptec: A system for predictive thermal and energy control in data centers. In *Real-Time Systems Symposium (RTSS), 2014 IEEE*, pages 218–227.
- [da Silva et al. 2016] da Silva, A. R., Júnior, J. C. X., and Silva, I. (2016). Rede de sensores para controle inteligente de ambientes. In *8º SBCUP - Simpósio Brasileiro de Computação Ubíqua e Pervasiva - XXXVI CSBC - Congresso da Sociedade Brasileira de Computação*.
- [El-Sayed et al. 2012] El-Sayed, N., Stefanovici, I. A., Amvrosiadis, G., Hwang, A. A., and Schroeder, B. (2012). Temperature management in data centers: Why some (might) like it hot. *SIGMETRICS Perform. Eval. Rev.*, 40(1):163–174.
- [Ferdoush and Li 2014] Ferdoush, S. and Li, X. (2014). Wireless sensor network system design using raspberry pi and arduino for environmental monitoring applications. *Procedia Computer Science*, 34:103 – 110.
- [García et al. 2014] García, C. G., G-Bustelo, B. C. P., Espada, J. P., and Cueva-Fernandez, G. (2014). Midgar: Generation of heterogeneous objects interconnecting applications. a domain specific language proposal for internet of things scenarios. *Computer Networks*, 64:143 – 158.
- [Liu et al. 2016] Liu, Q., Ma, Y., Alhussein, M., Zhang, Y., and Peng, L. (2016). Green data center with iot sensing and cloud-assisted smart temperature control system. *Computer Networks*, 101:104–112.
- [Lu et al. 2016] Lu, T., Zha, X., and Zhao, X. (2016). Multi-stage monitoring of abnormal situation based on complex event processing. *Procedia Computer Science*, 96:1361 – 1370. Knowledge-Based and Intelligent Information & Engineering Systems: Proceedings of the 20th International Conference KES-2016.
- [Ramos and Bianchini 2008] Ramos, L. and Bianchini, R. (2008). C-oracle: Predictive thermal management for data centers. In *2008 IEEE 14th International Symposium on High Performance Computer Architecture*, pages 111–122.

Uma arquitetura de *Beacons* customizáveis para Internet das Coisas

Emmanuel C. A. de Melo¹, Marcio E. F. Maia¹, Paulo A. L. Rego¹,
Francisco H. C. S. Filho¹, Rossana M. C. Andrade²

¹Universidade Federal do Ceará (UFC)
Campus Quixadá

Av. José de Freitas Queiroz, 5003 – Cedro Novo, Quixadá – CE, 63900-000 – Brasil

²Universidade Federal do Ceará (UFC)
Departamento de Computação

Campus do Pici - Centro de Ciências - Bloco 910, Fortaleza – CE, 60440-900 – Brasil

{cainammello, marcioefmaia, pauloalr, helderhdw, rossana}@ufc.br

Abstract. *The Internet of Things (IoT) can be defined as the set of technologies connecting objects from the physical world, empowering them with the ability to react to events produced by human and other systems. In that direction, the goal of this paper is to present an architecture to build Customizable Beacons, allowing user devices and Smart Objects to directly access the data published by the Beacons, without requiring Internet connection. The main contributions of this paper are the creation of an customizable Beacon using Arduino and BLE; an Android API to interact with Beacons and a server to manage the information published by each Beacon.*

Resumo. *A Internet das Coisas (Internet of Things - IoT) pode ser definida como um conjunto de tecnologias que conecta objetos do mundo físico com a Internet, tornando-os capazes de reagir a eventos produzidos por humanos ou outros sistemas. Assim, o objetivo desse artigo é apresentar uma arquitetura para a construção de Beacons customizáveis, permitindo que dispositivos de usuários e outros Objetos Inteligentes (OIs) possam acessar diretamente os dados publicados pelo Beacon, sem a necessidade de conexão com a Internet. As principais contribuições desse artigo são a criação do Beacon customizável utilizando o Arduino e BLE; uma API Android para interagir com os Beacons e um servidor para atualizar os dados publicados por cada Beacon.*

1. Introdução

A Internet das Coisas (*Internet of Things* - IoT) pode ser definida como um conjunto de tecnologias que conecta objetos do mundo físico com a Internet, tornando-os capazes de reagir a eventos produzidos por humanos ou outros sistemas [Evangelatos et al. 2012]. Nesse sentido, objetos inteligentes são objetos do mundo físico embarcados com algum tipo de processamento e comunicação. Dentro da IoT, prédios inteligentes utilizam os Objetos Inteligentes (OIs) para promoverem serviços que aumentam o conforto de seus ocupantes e a eficiência das tarefas realizadas [Agarwal and Weng 2012]. Exemplos de serviços oferecidos nos prédios inteligentes podem ser o controle de acesso às dependências do prédio, informações sobre localização e navegação *indoor*, conteúdo das salas e propagandas customizadas.

Nesse sentido, muitos desses serviços oferecidos pelos prédios inteligentes são baseados na interação direta entre usuários e OIs. Essa interação direta normalmente ocorre através de tecnologias de comunicação baseada em proximidade (e.g., Bluetooth, Bluetooth Low Energy, Zigbee e NFC) e permite que os OIs divulguem sua identidade ou os dados coletados, e ainda atuem no ambiente. Assim, para facilitar a criação de serviços que utilizam a interação direta entre OIs e usuários, o conceito de *Beacon* foi criado, permitindo que uma determinada informação seja publicada periodicamente e capturada por dispositivos de usuário (*smartphones*) e de ambiente (outros OIs), com um mínimo de consumo de energia. Um problema importante nas implementações atuais de *Beacons* é a dificuldade de customizar o conteúdo publicado por cada *Beacon*. No geral, os *Beacons* publicam seus identificadores estáticos, e a informação que esses identificadores representam é acessada na Internet.

Entretanto, em ambientes onde muitos dispositivos acessam informações sobre *Beacons*, o acesso à Internet para buscar as informações representadas pelo *Beacon* pode gerar problemas de desempenho, principalmente se a quantidade de *Beacons* for grande. Ou ainda impossibilitar o uso de *Beacons* em aplicações onde a conexão com a Internet é intermitente. Nesse contexto, o objetivo desse artigo é apresentar uma arquitetura para a construção de *Beacons* customizáveis, onde uma parte dos dados coletados pelos OIs são publicados periodicamente juntamente com o identificador do dispositivo. Essa abordagem permite que dispositivos de usuário e outros OIs acessem diretamente os dados publicados pelo *Beacon* sem a necessidade de conexão com a Internet, permitindo a criação de serviços em uma escala micro-local ou serviços de localização *indoor*.

A arquitetura apresentada no artigo foi implementada utilizando um hardware de prototipação com uma interface de comunicação Bluetooth Low Energy (BLE) para a criação do *Beacon* e publicação dos dados para usuários e outros OIs próximos, uma interface com acesso à Internet para a atualização, quando necessário, dos conteúdos publicados pelo *Beacons*, um conjunto de interfaces de acesso para dispositivos Android na forma de uma *Application Programming Interface* (API) para facilitar a detecção e o acesso por uma aplicação aos dados publicados por um *Beacon*, além de uma interface web para que usuários possam atualizar o conteúdo dos *Beacons*. A arquitetura implementada foi validada através de um estudo de caso e avaliação de desempenho.

Este trabalho está organizado da seguinte forma: a Seção 2 apresenta os principais conceitos utilizados por esse trabalho. A Seção 3 descreve os trabalhos relacionados. Na Seção 4, é discutida a arquitetura proposta e sua implementação. A Seção 5 apresenta o estudo de caso criado e os resultados da análise de desempenho. Por fim, a Seção 6 traz as considerações finais e os trabalhos futuros.

2. Referencial Teórico

Nesta seção são apresentados alguns conceitos básicos importantes para que se possa compreender o contexto no qual esta proposta está inserida, e o motivo pelo qual certas decisões foram tomadas, como escolha de equipamentos, tecnologias e protocolo de comunicação.

2.1. Bluetooth de Baixa Potência

Bluetooth de Baixa Potência (*Bluetooth Low Energy* - BLE) ou *Smart Bluetooth* é um tipo de tecnologia de conexão sem fio desenvolvida pelo Grupo de Interesse Especial

sobre *Bluetooth* (*Bluetooth Special Interest Group*) e pode ser entendida como uma especificação, ou funcionalidade que integra o *Bluetooth* desde 2010, a partir de sua versão 4.0 [Bluetooth 2010b]. O BLE possui algumas vantagens comparado ao *Bluetooth* Clássico, que o torna mais “inteligente” ao proporcionar mais funcionalidades para os desenvolvedores, fabricantes e para os usuários que terão uma melhor experiência com IoT. Estas vantagens fazem do BLE uma das tecnologias mais recomendadas para se empregar a Internet das Coisas [Bluetooth 2010a], como as listadas a seguir:

- Baixo consumo de energia, podendo funcionar por até quase um ano com uma célula de bateria do tamanho de uma moeda;
- Capacidade de múltiplas conexões, onde um dispositivo BLE central, chamado de BLE *master*, é responsável por aceitar, gerir e controlar as conexões de vários outros dispositivos que irão requisitar conexão, e são conhecidos como BLE *slaves*;
- Capacidade de enviar pequenas quantidade de bytes em *broadcast* para diversos dispositivos ao mesmo tempo sem a necessidade de criar uma conexão;
- Fornecer informações de sensores dos dispositivos que o utilizam, como: porcentagem da bateria, heixo de rotação ou RSSI (*Received Signal Strength Indicator*), através do serviço de *response* sobre a mensagem em *broadcast* enviada;
- Baixo custo, encontrando no mercado, produtos com a tecnologia por menos de \$10,00 dólares.

O BLE vem sendo muito utilizado em sistemas de localização *indoor*. A *Apple* utilizou a tecnologia do BLE para lançar o *Ibeacon*, um dispositivo capaz de localizar dispositivos IOS (*iPhone Operating System*) próximos que possuam a tecnologia BLE e enviar-lhes informações com base na localização desses dispositivos [Conte et al. 2014]. Para o futuro, é previsto que o BLE esteja presente em mais de 1 bilhão de dispositivos devido ao crescente uso da tecnologia do *Bluetooth* Clássico, utilizada em celulares, carros, notebooks, e diversos outros dispositivos. Esta popularização do *Bluetooth* Clássico serve como uma espécie de alavanca para impulsionar o crescimento da tecnologia do BLE [Gomez et al. 2012].

2.2. Beacons BLE

Um *Beacon* BLE pode ser entendido como um dispositivo que utiliza da Tecnologia do *Bluetooth Low Energy* para transmitir uma mensagem em *broadcast* para todos os dispositivos que estejam em um raio de cerca de 100 metros e possuam a função BLE ativada [Zafari and Papapanagiotou 2015]. Os dispositivos, geralmente *smartphones* e *tablets*, reagem a essa mensagem realizando alguma ação referente à mensagem recebida. É importante frisar que *Beacons* são dispositivos periféricos de comunicação e não devem ser utilizados para trabalhar com grandes volumes de dados. Como disse Patrick Leddy, chefe executivo e fundador da empresa *Pulsate*, os *Beacons* funcionam apenas como uma espécie de farol (por isso a nomenclatura “Beacon”, do português, “faról”), apenas enviando mensagens com uma pequena quantidade de dados em *broadcast* para os dispositivos ao redor, os informando sobre sua existência [Statler 2016].

A Figura 1 apresenta como uma mensagem enviada por um *Beacon BLE* é estruturada, com seu tamanho podendo variar de 8 a 47 bytes [Bluetooth 2010a]. O conceito de *Beacon* ficou mais conhecido com o aparecimento do *IBeacon*, criado pela *Apple*. O *IBeacon* é um protocolo específico baseado na tecnologia do BLE e se

destina e ser usado como um *BLE Beacon* voltados para os dispositivos da empresa [Zafari and Papapanagiotou 2015].

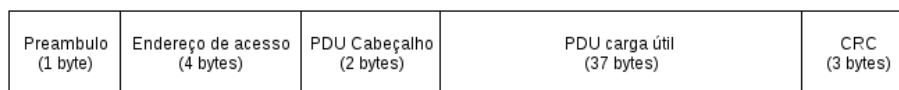


Figura 1. Estrutura do pacote de uma mensagem BLE

A Figura 2 apresenta como o protocolo IBeacon está estruturado dentro do pacote de mensagem BLE. Dentro do PDU carga útil (Figura 2.2), o endereço MAC (*Media Access Control*) contém o identificador único do dispositivo que está mandando a mensagem e 31 bytes restantes para serem utilizados. Na Figura 2.3, a estrutura do pacote *Ibeacon* é apresentada, que ocupa 30 bytes dos 31 disponíveis.

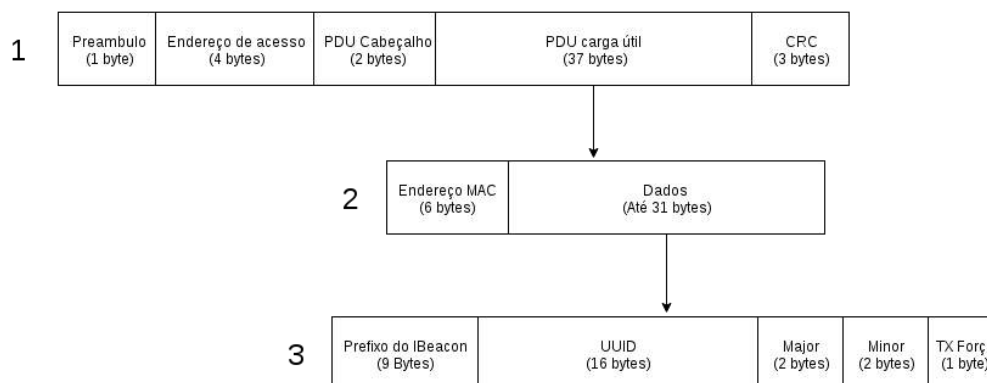


Figura 2. Protocolo IBeacon dentro da estrutura do pacote da mensagem BLE

2.3. Message Queue Telemetry Transport

Message Queue Telemetry Transport (MQTT) é um protocolo de comunicação extremamente leve e rápido, desenvolvido originalmente pela empresa IBM e é utilizado principalmente na comunicação M2M (*machine-to-machine*) [Lampkin et al. 2012]. Além de ser extremamente rápido e simples, o MQTT apresenta diversos benefícios para dispositivos com limitações de recursos (dispositivos embarcados) [MQTT 2016], como:

- Troca de mensagem assíncrona, sem a dependência de resposta ou mensagens de confirmação;
- Tamanho reduzido das mensagens trocadas, já que cabeçalho do pacote enviado com o protocolo MQTT é extremamente simples, deixando o pacote basicamente com os dados desejados, o que é essencial em casos de largura de banda baixa;
- Baixo uso dos recursos de processamento e memória;
- Comunicação otimizada para sensores e dispositivos remotos;
- Alta escalabilidade, através da utilização do esquema de tópicos e do padrão *publish/subscriber* (publicadores/assinantes).

O protocolo MQTT implementa a arquitetura *publish/subscriber* na sua comunicação, com um servidor central conhecido como *broker* (intermediário). O protocolo gira em torno do conceito de tópicos, onde todos os clientes se inscrevem, tanto para enviarem

informações, como para recebê-las [Lampkin et al. 2012]. De acordo com a arquitetura *publish/subscriber*, uma comunicação através do protocolo MQTT funciona da seguinte maneira: o *publisher* publica as informações para o *broker* (servidor) através de um tópico; os *subscribers* inscritos nesse mesmo tópico recebem essas informações do *broker*.

Tanto *publishers* como *subscribers* são clientes na arquitetura implementada pelo MQTT, e conectam-se a apenas um *broker*. Porém, um mesmo cliente MQTT pode ser *subscriber* e *publisher* de diversos tópicos [Lampkin et al. 2012]. Uma mensagem no protocolo MQTT é dividida em duas partes: **tópico** e **payload**. Um tópico é uma *string* (similar a uma *url*) e é utilizada para implantar uma hierarquia entre os tópicos, o que facilita a capacidade de um cliente publicar e se inscrever em um tópico específico, ou mesmo em todos os tópicos de uma subárea, um exemplo de tópico: *area/area_id/sensor/sensor_id/*. Por fim, temos a última parte do pacote, o *payload*, onde se encontra a informação propriamente dita [Hunkeler et al. 2008].

3. Trabalhos Relacionados

Em Khoo [Khoo 2015], uma solução para automação de conexões móveis é proposta para interação com um dispositivo de vídeo através de um servidor, que por sua vez deve gerenciar estas conexões. O autor escolhe a ferramenta *IBeacon* da *Apple*, equipada com a tecnologia BLE, assim como a tecnologia BPAN (*Bluetooth Personal Area Network*), uma outra especificação do *Bluetooth*. O autor utiliza a tecnologia BPAN para prover acesso a um servidor através de uma rede de conexões IP (*Internet Protocol*), sobre o *Bluetooth*. O autor também estrutura a plataforma criada no modelo cliente-servidor, onde uma placa *Raspberry Pi* faz a função de servidor, enquanto uma aplicação desenvolvida para *Android* faz o papel de cliente.

Em Conte *et al* [Conte et al. 2014], os autores propõem uma solução para detecção de ocupantes de uma construção utilizando a plataforma chamada *BLUE-SENTINEL* para localizar e quantificar os ocupantes na construção e utilizar estas informações para aprimorar as decisões tomadas pela construção inteligente. A plataforma criada consiste na implementação do protocolo *IBeacon* em um *Beacon* customizado, utilizando uma placa *Arduino*. O *Beacon* criado é então utilizado para mapear os locais do prédio e enviar a um servidor denominado *BLUE-SENTINEL Core* informações sobre a distância do aparelho e sobre o usuário. O servidor irá repassar essas informações para o Sistema Gerenciador da Construção (SGC) que irá tomar a melhor decisão com base nessas informações.

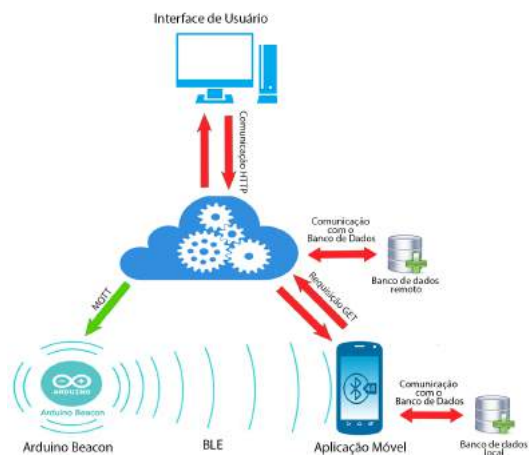
Em Takalo *et al* [Takalo-Mattila et al. 2013] é apresentada uma abordagem para representar semanticamente objetos físicos reais utilizando *Smart Bluetooth Beacons* para mapear esses objetos e enviar um identificador único chamado de *ucode* para a aplicação do usuário. A aplicação por sua vez, requer a resolução do *ucode* por um servidor e após recuperar esta informação, o servidor informa o endereço no banco de dados referente ao objeto de interesse. Por fim, a aplicação do usuário utiliza este endereço para consultar o banco de dados e obter as informações desejadas sobre o determinado objeto.

O principal problema dos trabalhos apresentados é a dependência a um servidor para que o sistema possa ser executado. De forma contrária, o trabalho aqui proposto já publica informações sobre os dados coletados pelo *Beacon* diretamente para os dispositivos próximos, diminuindo a dependência com servidores externos e aumentando a quantidade de interações locais.

4. Arquitetura do Sistema

Esse artigo propõe uma arquitetura para a criação de *Beacons* customizáveis para IoT. O objetivo é permitir que a informação publicada pelos *Beacons* possa ser atualizada em tempo de execução, e ainda facilitar o desenvolvimento de aplicações Android que acessem essas informações. A arquitetura proposta consiste em três módulos, como mostrado na Figura 3(a). Todos os códigos utilizados nesse projeto podem ser encontrados em <https://github.com/cainammello>.

O módulo Aplicação Móvel é responsável por mostrar ao usuário as informações enviadas pelo *Beacon*. A Figura 3(b) mostra a Aplicação *Android* acessando tais informações. A aplicação percorre a mensagem enviada pelo *Beacon* e extrai as informações contidas nele. No Algoritmo 1, vemos uma parte de como isso ocorre. No primeiro método, os *Beacons* próximos ao dispositivo são reconhecidos e inicializados. No segundo método, os dados que vêm do *Beacon* são utilizados para carregar os objetos que serão usados para mostrar ao usuário as informações sobre as salas de aula.



(a) Arquitetura do sistema proposto baseada em cliente-servidor



(b) Campos atualizados após o recebimento da mensagem pelo Beacon

Figura 3. Arquitetura da proposta e Tela principal do módulo Aplicação Android

```

1 beaconManager.addRangeNotifier(new RangeNotifier() {
2     @Override
3     public void didRangeBeaconsInRegion(Collection<Beacon> beacons, Region
4         region) {
5         if (beacons.size() > 0) {
6             Beacon b = beacons.iterator().next();
7             while (b != null) {
8                 onBeaconReceived(b);
9                 b = beacons.iterator().next();
10            }
11        }
12    });
13
14    public void onBeaconFined(Beacon b, String uuid) {
15        QBeaconProtocolo beaconProtocolo = new QBeaconProtocolo();
16
17        Sala sala = beaconProtocolo.getObjectFrom(Sala.class, uuid, 1);

```

```

18 Bloco bloco = beaconProtocolo.getObjectFrom(Bloco.class, uuid, 1);
19 Docente docente = beaconProtocolo.getObjectFrom(Docente.class, uuid, 1);
20 Disciplina disciplina = beaconProtocolo.getObjectFrom(Disciplina.class,
    uuid, 1);
21 Instituicao instituicao = beaconProtocolo.getObjectFrom(Instituicao.
    class, uuid, 1);
22 Campus campus = beaconProtocolo.getObjectFrom(Campus.class, uuid, 1);
23 Disciplina aulaAnt = beaconProtocolo.getObjectFrom(Disciplina.class, uuid
    , 2);
24 Disciplina aulaProx = beaconProtocolo.getObjectFrom(Disciplina.class,
    uuid, 3);
25 Integer hora = beaconProtocolo.getValueFrom(uuid, 1);
26 }

```

Algoritmo 1. Recebendo e utilizando os dados do Beacon para inicializar os objetos que serão utilizados para mostrar as informações ao usuário.

O módulo *Web Service* foi desenvolvido com base na arquitetura REST (*REpresentational State Transfer*) utilizando a linguagem de programação *JavaScript*, através do *framework* *NodeJS*¹, e é responsável por cadastrar, armazenar e atualizar as informações adicionadas sobre os *Beacons*. Estas informações são “chaves” contidas no identificador do *Beacon*, e são salvas no banco de dados local do dispositivo móvel para serem acessadas quando a conexão estiver indisponível e são atualizadas quando a conexão voltar a estar disponível.

O módulo *Arduino Beacon* é responsável por publicar os dados, usando a interface BLE, para a Aplicação Móvel, que consome esses dados. Um dos problemas encontradas nos modelos pesquisados é a dependência da conexão com o servidor web que a aplicação *mobile* possui, para obter os dados, impossibilitando o uso quando a conexão não está disponível. Entretanto, neste trabalho, os dados são transmitidos diretamente pelo *Beacon* e as informações que são grandes demais para serem publicados por ele, são acessadas diretamente via banco de dados local, que é atualizado quando o aplicativo é utilizado pela primeira vez, e posteriormente quando as informações forem atualizadas no servidor. É importante mencionar que o acesso ao servidor pelo aplicativo acontece com uma frequência muito baixa.

O módulo *Arduino Beacon* é formado por um *Bluetooth* de Baixa Potência, de referência HM-10, um *Shield Ethernet*, de referência HanRun HR911105A e a própria placa de prototipagem *Arduino Uno*, como mostra a Figura 4. O módulo é encarregado de transmitir as informações capturadas por sensores *Arduino* através do BLE.

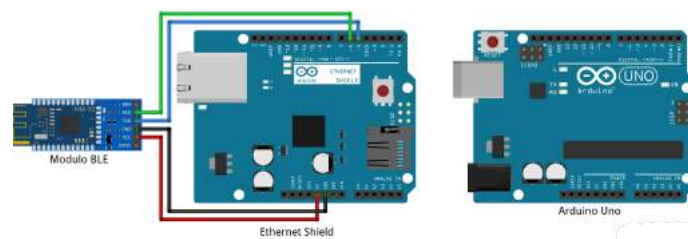


Figura 4. Circuito módulo BLE mais Ethernet Shield e Arduino UNO

A comunicação entre *Arduino Beacon* e *Web Service* ocorre através de um tópico

¹NodeJS: <https://nodejs.org/en/>.

MQTT ao qual um *Beacon* está subscrito, como explicado na seção 2.3. Esses tópicos são criados pelo *Web Service* em tempo de execução, de acordo com as informações cadastradas sobre um *Beacon*. Para passar transmitir uma nova informação, o *Beacon*, após se inscrever no tópico MQTT correto, recebe do Broker (*Web Service*) as mensagens que são publicadas naquele tópico e as envia em modo *broadcast* pela interface BLE. A aplicação *mobile* por sua vez, recebe a mensagem enviada em *broadcast* através da biblioteca AltBeacon² e as mostra ao usuário.

O protocolo *IBeacon* foi utilizado com o objetivo de aproveitar os bytes que eram utilizados apenas como identificador, e substituí-los por identificadores (IDs), que representam os dados armazenados no banco de dados local da Aplicação Móvel. Cada ID tem um tamanho de 2 hexadecimais para cada dado publicado. A Tabela 1 nos mostra como é estruturado o UUID e os comandos **AT** (comandos Hayes) necessários para modifica-los. Os comandos **AT** são passados através de uma comunicação serial entre a interface do *Bluetooth Low Energy* e o Módulo BLE.

Tabela 1. BLE Universally Unique Identifier (UUID)

UUID: 00000001-00000001-0000-0001-00000001			
AT+IBE00000001	AT+IBE10000001	AT+IBE20000001	AT+IBE30000001

Com a mensagem enviada pelo *Web Server*, o *Arduino Beacon* quebra essa mensagem em 4 conjuntos de 8 hexadecimais (ou 4 bytes) e armazena cada um em uma faixa do UUID do BLE, seguindo o padrão formado na hora do cadastro das informações no *Web Service*. Depois de ter dividido as informações, o mapeamento dos dados publicados pelo *Beacon* mostrado na Tabela 2 é realizado.

Tabela 2. Adaptação do protocolo IBeacon UUID

UUID				
	ID de sala	ID de bloco	ID de disciplina	Hora de início
AT+IBE0:	00	00	00	00
	ID de docente	ID de docente	ID de instituição	Minutos de início
AT+IBE1:	00	00	00	00
	ID de campus	ID de aula anterior	ID de próxima aula	Hora de fim
AT+IBE2:	00	00	00	00
	ID de histórico	ID livre	ID livre	Minuto de fim
AT+IBE2:	00	00	00	00

5. Avaliação da Proposta

Com o objetivo de analisar como a proposta se comporta com dispositivos reais, duas avaliações foram realizadas: i) um estudo de caso que fornece um guia das aulas e salas em um campus inteligente; e ii) uma avaliação de desempenho que mede o tempo de detecção de novos *Beacons* e o tempo de leitura dos dados publicados por eles. O estudo de caso implementado fornece informações sobre salas de aula, professores e conteúdo das aulas em um campus inteligente. Nele, uma aplicação Android acessa as informações publicadas por um *Beacon*, a fim de descrever as informações referentes à sala que o usuário está inserido. A Figura 3(b) e o Algoritmo 1 apresentam uma parte desse estudo de caso. O código completo está disponível em <https://github.com/cainammello>.

²AltBeacon: <http://altbeacon.org/>.

5.1. Avaliação de Desempenho

A avaliação de desempenho foi realizada com quatro dispositivos móveis: Lenovo Vibe K5, Samsung J5, LG G2 e Motorola Moto X Play. Os experimentos foram repetidos 30 vezes para cada combinação de dispositivo móvel e distância (que variou de 1 a 25 metros). A Figura 5 (a) apresenta a média do tempo de detecção do *Beacon*, com 95% de confiança, para diferentes distâncias entre os dispositivos e o *Beacon*. Pode-se perceber que, para todos os dispositivos móveis, quanto maior a distância entre o *smartphone* e o *Beacon*, maior o tempo de detecção. No melhor caso (distância de 1m) o *Beacon* foi detectado em menos de 2s, enquanto no pior cenário (distância de 25m) o *Beacon* levou em média 12s para ser descoberto (no Vibe K5).

A Figura 5 (b) apresenta a média do tempo que os dispositivos móveis levam para atualizar a tela uma vez que o *Beacon* é descoberto, com 95% de confiança. Pode-se perceber que, ao contrário do tempo para detectar o *Beacon*, a variação da distância não impacta no tempo de atualização da tela. Uma vez que o *Beacon* é detectado, as informações são extraídas do *Beacon* e do banco de dados local, o que requer um tempo aproximadamente constante. O experimento mostrou também que tal processo é rápido, demorando menos de um décimo de segundo em todos os dispositivos móveis.

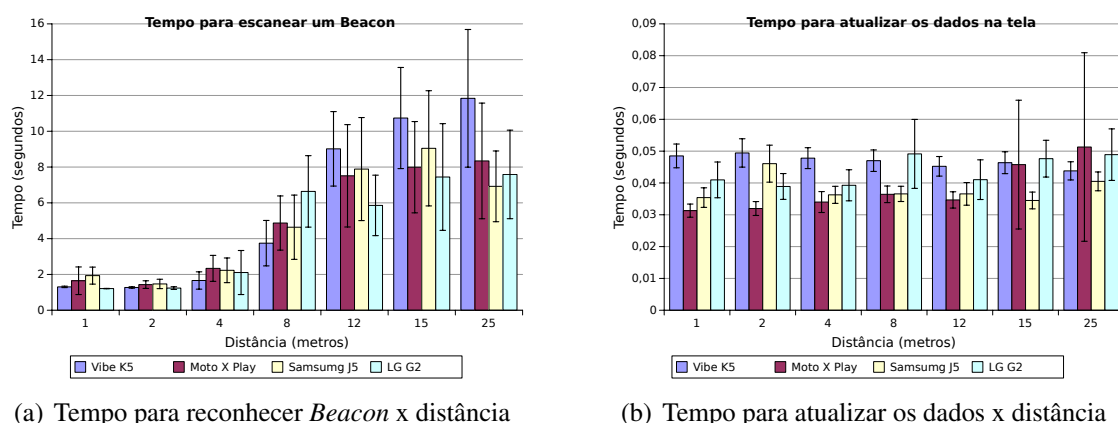


Figura 5. Resultados da avaliação de desempenho

6. Considerações Finais e Trabalhos Futuros

Esse artigo apresentou uma arquitetura para a criação de *Beacons* customizáveis para Internet das Coisas. O objetivo era permitir que a informação publicada pelos *Beacons* pudesse ser acessada de forma direta por proximidade, sem a necessidade de conexões com servidores na Internet. Adicionalmente, o desenvolvimento de aplicações Android que acessam a essas informações foi facilitado, fornecendo uma API para acessar as informações dos *Beacons*.

As principais contribuições desse artigo são a criação do *Beacon* customizável utilizando o Arduino e BLE; uma API Android para facilitar o desenvolvimento de aplicações que acessam *Beacons*; um servidor, com um cliente *front-end*, para atualizar os dados publicados pelos *Beacons*. Essas contribuições foram validadas de duas formas diferentes: i) um estudo de caso que fornece um guia das aulas e salas em um campus inteligente; e ii) uma avaliação de desempenho que mede o tempo de detecção de novos *Beacons* e o tempo de leitura dos dados publicados por eles,

Como trabalhos futuros, as seguintes melhorias serão realizadas: propor um meio de tornar mais genérico a forma com que o mapeamento dos bytes no UUID são feitos; otimizar o *response* do BLE para conseguir mandar mais dados sem deixar o processo de comunicação lento; e colocar a plataforma em execução com o objetivo de coletar dados sobre o seu funcionamento.

Referências

- Agarwal, Y. and Weng, T. (2012). From buildings to smart buildings—sensing and actuation to improve energy efficiency. *IEEE Design & Test of Computers*, vol.29(4):36–44.
- Bluetooth, S. (2010a). The bluetooth core specification, v4. 0. *Bluetooth SIG: San Jose, CA, USA*.
- Bluetooth, S. (2010b). Specification of the bluetooth system-covered core package version: 4.0.
- Conte, G., De Marchi, M., Nacci, A. A., Rana, V., and Sciuto, D. (2014). Bluesentinel: a first approach using ibeacon for an energy efficient occupancy detection system. In *BuildSys@ SenSys*, pages 11–19, 1st ACM International Conference on Embedded Systems For Energy-Efficient Buildings (BuildSys) 2014. ResearchGate.
- Evangelatos, O., Samarasinghe, K., and Rolim, J. (2012). Evaluating design approaches for smart building systems. In *Mobile Adhoc and Sensor Systems (MASS), 2012 IEEE 9th International Conference on*, pages 1–7, Las Vegas, NV. IEEE, IEEE.
- Gomez, C., Oller, J., and Paradells, J. (2012). Overview and evaluation of bluetooth low energy: An emerging low-power wireless technology. *Sensors*, 12(9):11734–11753.
- Hunkeler, U., Truong, H. L., and Stanford-Clark, A. (2008). Mqtt-s—a publish/subscribe protocol for wireless sensor networks. In *Communication systems software and middleware and workshops, 2008. comsware 2008. 3rd international conference on*, pages 791–798. IEEE.
- Khoo, K. C. Y. (2015). *Automation of internet of things connection*. PhD thesis, UTAR.
- Lampkin, V., Leong, W. T., Olivera, L., Rawat, S., Subrahmanyam, N., Xiang, R., Kallas, G., Krishna, N., Fassmann, S., Keen, M., et al. (2012). *Building smarter planet solutions with mqtt and ibm websphere mq telemetry*. IBM Redbooks.
- MQTT, O. (2016). Mqtt: Mq telemetry transport.
- Statler, S. (2016). Geofencing: Everything you need to know. In *Beacon Technologies*, pages 307–316. Springer.
- Takalo-Mattila, J., Kiljander, J., and Soininen, J.-P. (2013). Advertising semantically described physical items with bluetooth low energy beacons. In *Embedded Computing (MECO), 2013 2nd Mediterranean Conference on*, pages 211–214, 2013 2nd Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO), Budva. IEEE, IEEE.
- Zafari, F. and Papapanagiotou, I. (2015). Enhancing ibeacon based micro-location with particle filtering. In *Global Communications Conference (GLOBECOM), 2015 IEEE*, pages 1–7. IEEE.

Uma estratégia baseada em medida de centralidade para instalação de pontos de disseminação em VANETs

Douglas L. L. Moura¹, Raquel S. Cabral¹, Thiago B. M. Sales¹, André L. L. Aquino²

¹Curso de Ciência da Computação - Universidade Federal de Alagoas (UFAL)
Caixa Postal 57.309-005 - Arapiraca - AL - Brasil

²Instituto de Computação - Universidade Federal de Alagoas (UFAL)
Caixa Postal 57.072-970 - Maceió - AL - Brasil

{douglas.moura, thiago.sales, raquel.cabral}@arapiraca.ufal.br,
alla@laccan.ufal.br

Abstract. *The vehicular networks present a high dynamic topology that requires an infrastructure of fixed transmission points installed along the roads, which may provide vehicle connectivity in sparse or low density areas. This work presents an approach based on genetic algorithm and centrality measure to Maximum Coverage with Time Threshold Problem (MCTTP) in vehicular networks. Our approach considers a limited number of dissemination points to maximize vehicle coverage that allows vehicle connectivity. The centrality measure from the complex network theory reduces the problem's search space of the genetic algorithm, which implies to a more efficient approach. We applied our proposed solution to a real urban scenario with a high vehicles density. Experimental results suggest a higher vehicle coverage of 1.06% and 3.78% than the results of other approaches.*

Resumo. *As redes veiculares possuem uma topologia intrinsecamente dinâmica, tornando-se necessária a instalação de pontos de disseminação como complemento à comunicação realizada apenas entre os veículos. Neste trabalho apresentamos uma abordagem baseada em algoritmos genéticos e medidas de centralidade para o problema da máxima cobertura com tempo de contato (MCTTP) em redes veiculares. A abordagem considera a instalação de um número limitado de pontos de disseminação para permitir a propagação de informação maximizando a cobertura de veículos. A utilização da medida de centralidade permitiu a redução do espaço de busca do algoritmo genético, tornando-o mais eficiente. A solução foi aplicada a um cenário urbano real com uma alta densidade de veículos que se deslocam ao longo do tempo. Os resultados obtidos foram comparados com outras duas abordagens da literatura. Considerando um tempo mínimo de contato, os resultados encontrados sugerem um aumento significativo na cobertura dos veículos, 1.06% e 3.78% quando comparados aos resultados obtidos por outras soluções.*

1. Introdução

Em uma VANET (*Vehicular Ad hoc Network*) [Al-Sultan et al. 2014], os veículos são capazes de trocar mensagens com outros veículos (comunicação V2V - *Vehicle-to-Vehicle*)

ou com pontos de disseminação (comunicação V2I - *Vehicle-to-Infrastructure*) que são instalados ao longo das estradas. Em razão do alto dinamismo nos padrões de mobilidade da comunicação V2V, a topologia da rede é constantemente alterada, o que implica em uma conectividade frágil e desconexões. Por outro lado, apesar dos custos associados à adoção dos pontos de disseminação (PDs), a comunicação V2I permite reduzir os limites na propagação de dados. Desta forma, os PDs podem promover a disseminação escalável de informações ao longo das estradas.

Dessa forma, é possível definir o seguinte problema:

dado um conjunto K de pontos de disseminação, onde implantar os elementos de K de modo a maximizar o contato entre veículos e pontos de disseminação, bem como garantir um tempo mínimo na cobertura para conexões entre veículos e pontos de disseminação?

O problema de cobertura e conectividade trata-se de um desafio clássico em redes *ad hoc* no geral [Meguerdichian et al. 2001], nas quais a cobertura é uma métrica de qualidade de comunicação. Apesar de existirem soluções difundidas na literatura que são interessantes e eficientes, em razão das particularidades da VANET, estratégias diferenciadas são importantes como forma de lidar com o comportamento dinâmico da rede veicular. O problema de MCTTP é abordado em [Trullols et al. 2010] e [Cavalcante et al. 2012], onde são apresentados uma solução gulosa e um algoritmo genético para o problema, respectivamente.

Neste trabalho apresentamos uma solução baseada em algoritmos genéticos e uma medida de centralidade, denominada *betweenness centrality* [Brandes 2001], para o problema de MCTTP. Além disso, foi utilizado o método de Louvain [Blondel et al. 2008] para detecção de comunidades, com o objetivo de reduzir o espaço de busca do problema e tornar a solução mais eficiente. Considerando um tempo mínimo de contato, os resultados encontrados sugerem um aumento significativo na cobertura dos veículos, de até 1.06% e 3.78% quando comparados aos resultados obtidos por [Cavalcante et al. 2012] e [Trullols et al. 2010].

O restante deste artigo está organizado da seguinte forma: Seção 2 apresenta uma revisão bibliográfica sobre o problema tratado. Seção 3 descreve o problema de máxima cobertura com tempo de contato em redes veiculares, apresentando a formalização do problema. Seção 4 detalha a solução baseada na métrica de centralidade, ao passo que são discutidos na Seção 5 os resultados encontrados com a abordagem proposta, comparando-a a duas abordagens encontradas na literatura. Por fim, Seção 6 mostra a conclusão e alguns trabalhos futuros.

2. Trabalhos Relacionados

Nesta seção são apresentados os principais trabalhos relacionados a implantação de pontos de disseminação ao longo de uma topologia rodoviária. Inicialmente, temos que Aslam et al. [Aslam et al. 2012] propuseram dois métodos de otimização para determinar em quais interseções instalar um número limitado de PDs, com o objetivo de maximizar o fluxo de informações dos veículos para os PDs. O primeiro método, baseado na Programação Inteira Binária (PIB), utilizou *Branch-and-Bound* (B&B) para encontrar a solução ótima. O segundo método utiliza a heurística da expansão do balão (*Balloon Expansion Heuristic* - BEH) e encontrou a solução ótima incorporando o conhecimento

da topologia das estradas. Dentre os métodos propostos, como esperado, o segundo destacou-se em razão de seu tempo de execução, que é consideravelmente menor que o primeiro método.

Brahim et al. [Ben Brahim et al. 2015] propuseram soluções nas quais o objetivo era melhorar o desempenho, confiabilidade e conectividade da rede. A rede foi representada como um grafo ponderado, de maneira que o peso atribuído a cada aresta estava relacionado a importância de sua ligação. Desta forma, os autores resolveram o problema de instalação dos PDs utilizando duas abordagens: problema da mochila; e algoritmo de *PageRank*. Nesse contexto, o problema da mochila obteve melhores resultados.

Por outro lado, considerando a disseminação de informações em VANETs, alguns autores buscaram modelar o problema a partir do Problema da Máxima Cobertura (*Maximum Coverage Problem* - MCP) ou variantes do MCP [Silva et al. 2015]. Trullols et al. [Trullols et al. 2010] propuseram duas outras abordagens baseadas no problema da mochila e no problema de máxima cobertura com tempo de contato (MCTTP). Em cada solução, os autores aplicaram o algoritmo guloso e a estratégia dividir para conquistar. Baseando-se nesses resultados, Cavalcante et al. [Cavalcante et al. 2012] considerou o mesmo problema e usou como solução um algoritmo genético. A partir da inclusão da informação gerada pelo algoritmo guloso, foi possível melhorar a solução do algoritmo genético e obter um aumento no percentual de cobertura.

Outras abordagens são propostas na literatura com diferentes estratégias de solução. Por exemplo, modelos probabilísticos [Chi et al. 2016, Silva et al. 2014], modelos que utilizam grafos para caracterizar o padrão de mobilidade dos veículos [Xiong et al. 2013] e soluções baseadas na Programação Linear Inteira (PLI) [Liang et al. 2012, Cumbal et al. 2016]. Todos os trabalhos mencionados utilizaram cenários específicos e parâmetros pré-definidos.

Neste trabalho, o problema foi modelado como um problema de máxima cobertura com tempo de contato utilizando uma abordagem genética adicionando o uso de uma medida de centralidade para otimizar o espaço de busca do algoritmo. Dessa forma foi possível obter um algoritmo mais eficiente em relação à porcentagem de cobertura de veículos, ao número de gerações do algoritmo genético para encontrar a solução e, conseqüentemente, ao tempo de execução.

3. Definição do Problema de Otimização

Partimos da definição de que um veículo será coberto se, e somente se, estiver conectado a um ou mais PDs por um certo período de tempo. O problema foi modelado como um problema de máxima cobertura (MCTTP) [Hochbaum 1997]. O MCTTP é um problema de otimização combinatória NP-Difícil [Khuller et al. 1999]. Assim, torna-se necessário o uso de abordagens heurísticas como forma de obter uma solução aproximada para o problema.

Inicialmente, seja $\mathbf{V} = \{V_1, V_2, \dots, V_n\}$ o conjunto de veículos presentes na topologia rodoviária e n o número máximo de veículos; $\mathbf{I} = \{I_1, I_2, \dots, I_m\}$ o número de interseções presentes na topologia; $\hat{\mathbf{I}}$ o conjunto de interseções escolhidas para a instalação dos PDs, i.e., a lista com as posições dos PDs; e $T[m \times n]$ uma matriz que indica a relação entre os veículos e interseções, em que cada elemento T_{ij} da matriz é o

tempo total de contato entre o veículo j e a interseção i , i.e., as ligações V2I. O conjunto de cobertura $\mathbf{V}' = \{V'_{I_1}, V'_{I_2}, \dots, V'_{I_m}\}$ é determinado por todos os veículos que atravessam alguma interseção, onde $V'_{I_i} \in \mathbf{V}'$ é o subconjunto de veículos presentes na interseção I_i . Um dado veículo é considerado coberto quando permanecer em contato com algum PD por no mínimo τ segundos. A cobertura pode ser completada de forma direta (único PD é suficiente para atingir τ) ou fragmentada (o tempo de cobertura é alcançado com outros PDs que o veículo esteve em contato).

Desta maneira, o MCTTP seleciona k conjuntos de \mathbf{V}' para cobrir a maior quantidade possível de veículos no cenário com um tempo mínimo de τ segundos. O problema de máxima cobertura com tempo de contato pode ser formulado como segue:

$$\max \sum_{j=1}^n \left[\min \left(\tau, \sum_{i=1}^m T_{ij} \mathcal{Y}_i \right) \right], \quad (1)$$

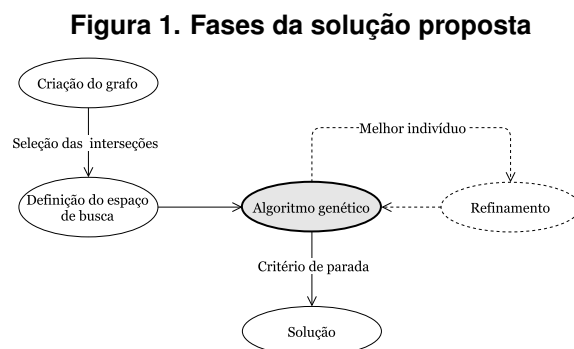
sujeito a

$$\sum_{i=1}^m \mathcal{Y}_i \leq k; \quad \mathcal{Y}_i \in \{0, 1\} \forall i \quad (2)$$

Na Equação 1 é descrito o MCTTP, onde \mathcal{Y}_i é 1 se o PD está na interseção i , de forma que se maximize o número de veículos cobertos. A restrição 2 assegura que o número de PDs seja menor ou igual a k interseções.

4. Solução proposta

A nossa solução considera o fluxo presente na Figura 1, cujo as etapas são descritas como segue:



O ponto inicial da solução é a **criação do grafo** bipartido $G = (\mathcal{V}, \mathcal{E})$ não-direcionado e ponderado, em que $\mathcal{V} = \mathbf{V} \cup \mathbf{I}$ e $\mathcal{E} = (\mathbf{V}_j, \mathbf{I}_i)$, em que o par ordenado $(\mathbf{V}_j, \mathbf{I}_i)$ é um elemento da matriz $\mathbf{T}[m \times n]$. Cada veículo e interseção recebem um valor para identificar cada um deles no grafo. O valor \mathbf{T}_{ij} associado ao tempo de cobertura deve ser maior que 0. Dado que o grafo é não-direcionado, se um veículo j está no raio de transmissão de um PD na interseção i , então este PD também estará no raio de transmissão do veículo j . Em redes reais, em razão das diferenças nas potências dos sinais,

tal simetria nem sempre ocorre. Ademais, vértices e interseções isolados são retirados do grafo. O peso da conexão entre a interseção i e o veículo j é dado por:

$$p_{ij} = \max(\mathbf{T}) - \min(\tau, \mathbf{T}_{ij}) + 1 \quad (3)$$

Assim, o peso é obtido a partir da diferença entre o maior tempo de contato na matriz $\max(\mathbf{T})$, e o menor valor τ e o elemento \mathbf{T}_{ij} . Por fim, o valor 1 é somado ao resultado para evitar a ocorrência de uma aresta com peso nulo.

O *espaço de busca* denota todas as possíveis soluções para o problema tratado. Diante disso, partindo de uma população inicial, o algoritmo genético irá explorar diversas regiões na tentativa de alcançar o máximo global, nesse caso, o conjunto de interseções onde deve-se instalar os PDs de forma a garantir a maior cobertura de veículos. Neste trabalho, a definição do espaço de busca é feita em duas etapas: (i) o uso de uma medida de centralidade, para que as interseções mais relevantes sejam escolhidas para a instalação dos PDs, i.e., este procedimento busca identificar interseções que tendem a favorecer a cobertura dos veículos devido a sua centralidade; (ii) e a detecção de comunidades devido à alta densidade da rede. A seleção das interseções candidatas tem como objetivo reduzir o espaço de busca do problema, i.e., é um pré-processamento da entrada do algoritmo genético.

O *betweenness centrality* é uma medida que quantifica a centralidade de um vértice com base no número de caminhos mínimos que passam por este vértice e é dado pela Equação 4 [Newman 2004]:

$$B_v = \sum_{i \neq v \neq j \in V} \frac{\sigma_{ij(v)}}{\sigma_{ij}} \quad (4)$$

Considere $\sigma_{ij(v)}$ como sendo a quantidade de caminhos mínimos entre os vértices i e j que passam pelo vértice v , e σ_{ij} é o número total de caminhos mínimos entre os vértices i e j . Assim, quanto maior o *betweenness* de um vértice, maior sua importância dentro da rede.

A partir do grafo $G = (\mathcal{V}, \mathcal{E})$, são identificados um conjunto de comunidades $\mathcal{C} = \{C_1, C_2, \dots, C_c\}$ em que cada elemento de \mathcal{C} é subgrafo de G , i.e., $C_i = (\mathcal{V}', \mathcal{E}')$, onde $\mathcal{V}' \subseteq V$ e $\mathcal{E}' \subseteq \mathcal{E}$. Para a detecção das comunidades é utilizado o método heurístico de Louvain baseado na otimização de modularidade e proposto como solução para o problema de detecção de comunidades em redes de grande escala [Fortunato 2010]. Após formadas as comunidades, o *betweenness centrality* é calculado para todas as interseções (vértices) de cada comunidade do conjunto \mathcal{C} . Posteriormente, cada comunidade é percorrida e a interseção com maior valor de *betweenness centrality* é selecionada. Processo é repetido até selecionar um percentual de qi interseções, valor de qi é definido durante o ajuste dos parâmetros do algoritmo.

Visto que a medida de centralidade é atribuída a cada vértice da comunidade C_c , o resultado será um conjunto \mathbf{Q} contendo o valor de centralidade de cada interseção e sua respectiva comunidade.

O *algoritmo genético* (ver Algoritmo 1), denominado de MCTTP-c, é baseado no *betweenness centrality*. A entrada do algoritmo é o número k de PDs que serão instalados, a matriz \mathbf{T} , o tempo de contato τ , o conjunto \mathbf{V}' de veículos que tiveram contato

com alguma interseção e o conjunto \mathbf{Q} . A população inicial do algoritmo é gerada aleatoriamente, contudo, restrita às interseções contidas em \mathbf{Q} (Linha 1). Um indivíduo (IN) representa uma possível solução para o problema, com k interseções para implantar k PDs. Assim a função *fitness* tem como resultado a porcentagem de veículos cobertos pelos PDs. A função *fitness* \mathcal{F}_{IN} é definida pela Equação 5:

$$\mathcal{F}_{IN} = \frac{|\widehat{V}|}{n}. \quad (5)$$

Em que n é o total de veículos e \widehat{V} é o conjunto dos veículos cobertos pelos PDs instalados nas interseções pertencentes ao indivíduo \mathbf{IN} . Cada elemento \widehat{V} deve possuir um tempo de contato maior que τ .

Algoritmo 1 Algoritmo genético baseado na centralidade (MCTTP-c)

Requer $k, \mathbf{T}[\mathbf{m} \times \mathbf{n}], \tau, \mathbf{V}', \mathbf{Q} = \{Q_1, Q_2, \dots, Q_q\}$
 1: $\mathbf{P} \leftarrow$ indivíduos gerados a partir de \mathbf{Q}
 2: $l \leftarrow \max 0, f_{\mathbf{IN}_i}, i \in \{1, \dots, p\}$
 3: **repita**
 4: Avalia os indivíduos de acordo com $f_{\mathbf{IN}}$
 5: Realiza a seleção por torneio
 6: Executa cruzamento pontual com probabilidade p_{cruz}
 7: Executa mutação pontual com probabilidade p_{mut}
 8: Inserção elitista na nova população l'
 9: Insera novos indivíduos em l'
 10: $l \leftarrow \max(l, f_{\mathbf{IN}_i}, i \in \{1, \dots, p\})$
 11: $\mathbf{IN}_i \leftarrow$ refinamento \mathbf{IN}_i
 12: **até** atingir número máximo de gerações
 13: $\widehat{\mathbf{I}} \leftarrow \mathbf{IN}_i$

Após a inicialização da população, os indivíduos têm a sua aptidão avaliada (Linha 2) e durante um número mínimo de gerações são submetidos aos processos de seleção natural. Desta forma, os indivíduos são selecionados através de torneio e são submetidos ao cruzamento pontual para compor a nova população (Linhas 5 e 6). Os novos indivíduos podem sofrer mutação pontual (Linha 7) e o elitismo preserva o indivíduo mais apto para compor a população seguinte (Linha 8). Os indivíduos são novamente avaliados (Linha 10) e o melhor indivíduo é então submetido ao processo de refinamento (Linha 11). Ao atingir o critério de parada (Linha 12), o algoritmo irá retornar o melhor indivíduo da população $\widehat{\mathbf{I}}$.

O *processo de refinamento* consiste em melhorar a aptidão do indivíduo \mathbf{IN}_i a partir da troca de um gene, escolhido aleatoriamente, por outro que esteja na mesma comunidade. O gene substituto é aquele cuja troca resultar no maior valor de aptidão para o indivíduo. O método de refinamento é aplicado após a seleção das interseções candidatas, em razão disso, apenas as interseções mais relevantes da comunidade explorada serão consideradas. Por fim, tem-se a *solução* do algoritmo com os PDs instalados garantindo a maior cobertura de veículos.

5. Experimentos e resultados

Os experimentos foram executados a partir de um cenário elaborado com dados extraídos de traços de mobilidade veicular, que descrevem a posição individual dos veículos durante

um período de observação. O raio de transmissão assumido para cada nó da rede foi de $R = 100$ metros, valor tipicamente adotado em experimentos. Questões relativas a protocolos de rede e roteamento foram abstraídas, assim como eventuais problemas que poderiam resultar na falha da entrega das mensagens, por exemplo, atenuação de sinal. Deste modo, o tempo de permanência de um veículo em uma interseção qualquer foi computado a partir da Distância Euclidiana.

O cenário foi construído, a partir de dados extraídos dos traços de mobilidade da área urbana da cidade Colônia, na Alemanha¹. O conjunto original de dados cobre uma área de 400km^2 por um período de 24 horas, mais de 700.000 rotas individuais de veículos foram utilizadas. Desta base de 24h, dado a magnitude dos dados e o custo computacional para processá-los, utilizamos apenas um conjunto de dados reduzido² contendo um intervalo de duas horas de simulação. Os dados extraídos reproduzem o cenário em um horário de pico de um dia matinal de trabalho (6h às 8h), seguindo uma granularidade de um segundo. Este cenário reduzido foi filtrado de modo a remover veículos que atravessaram menos de três interseções ou permaneceram no cenário por um tempo inferior à um minuto. Assim, para construção da matriz de contatos $\mathbf{T}[m \times n]$, contamos com 27,615 interseções e 118,482 veículos.

Os experimentos analisam o percentual de veículos cobertos a partir da solução desenvolvida neste trabalho (MCTTP-c) em comparação com outras duas abordagens, o algoritmo guloso (MCTTP-g) proposto por [Trullols et al. 2010] e o algoritmo genético (MCTTP-cv) de [Cavalcante et al. 2012]. A configuração dos parâmetros influencia no comportamento dos algoritmos genéticos, assim, o ajuste apropriado permite obter melhores resultados. Vários testes foram realizados, permitindo investigar as soluções obtidas para diferentes complexidades do problema e para se chegar aos valores de todos os parâmetros apresentados aqui. Em razão disso, para cada configuração dos algoritmos, estes foram replicados 10 vezes, um número suficiente, considerando o alto custo computacional associado aos experimentos, e o teste Shapiro–Wilk permitiu averiguar a normalidade das distribuições. Adiante, o teste t-Student foi utilizado como critério de decisão do melhor resultado, com intervalo de confiança de 95% e nível de significância α de 5%. Nos casos em que não se conseguiu determinar a melhor configuração, optou-se por escolher o parâmetro que favorecesse a obtenção da melhor solução considerando um número de gerações menor. Os valores utilizados ao fim do ajuste dos parâmetros dos algoritmos foram os seguintes:

Algoritmo	q_i	Gerações	População	Cruzamento	Mutação
MCTTP-c	5%	100	400	0.95	0.100
MCTTP-cv	-	200	500	0.95	0.100

O torneio de tamanho dois foi utilizado em ambas as abordagens.

O parâmetro k foi fixado em 25, uma quantidade capaz de cobrir um percentual acima de 30% dos veículos, em razão da dimensão do cenário considerado. Em todos os casos avaliados, o tempo mínimo de contato τ foi definido como 30 segundos. A Figura 2(a) apresenta um comparativo entre as três abordagens analisadas quando o número

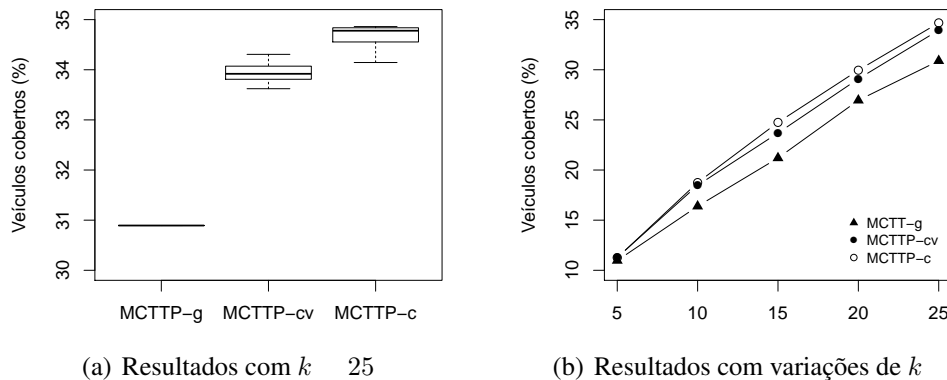
¹O conjunto de dados é disponibilizado pelo projeto TAPASCologne, uma iniciativa do *Institute of Transportation Systems (ITS-DLR)* no Centro Aeroespacial Alemão.

²Disponível em: <http://kolntrace.project.citi-lab.fr/>

de PDs é $k = 25$. O MCTTP-c obteve um ganho na cobertura dos veículos de 3.05% (3.600 veículos cobertos) em relação ao MCTTP-g e 0.73% (864 veículos cobertos) em relação ao MCTTP-cv. É visível que as duas abordagens evolutivas conseguem resultados melhores que a solução gulosa, isto deve-se ao fato de que o algoritmo guloso realiza uma busca local na tentativa de encontrar o máximo global. Em virtude disto, interseções que poderiam complementar a cobertura são desconsideradas por não sugerirem a obtenção de boas soluções. A inserção da restrição de tempo mínimo impõe uma complexidade adicional ao problema, pois ainda que o cenário apresente interseções com um alto tempo de contato, outras devem ser selecionadas a fim de incrementar o tempo de cobertura, que é acumulativo.

Ambos os algoritmos genéticos tratam-se de soluções mais sofisticadas para a resolução do MCTTP, a diferença nos resultados obtidos pelas duas abordagens, apesar de estatisticamente significativa, foi menor, isto sugere uma aproximação do ponto de ótimo global. A sutil diferença entre o MCTTP-cv e o MCTTP-c deve-se aos aprimoramentos aplicados ao MCTTP-c, que permitiu ao algoritmo alcançar regiões melhores do espaço de busca. A partir da seleção de interseções candidatas foi possível excluir regiões de baixa aptidão e direcionar a busca através de regiões mais promissoras. O método de refinamento garantiu ao algoritmo atingir melhores soluções a partir da exploração de interseções que devido à sua similaridade compõe uma mesma comunidade.

Figura 2. Resultados obtidos pelos algoritmos analisados



A Figura 2(b) apresenta a evolução dos veículos cobertos para as três abordagens comparadas em função do valor de k . Com valores menores para k é notável a dificuldade em encontrar soluções melhores que aquela fornecida pelo MCTTP-g, em $k = 5$, por exemplo, os percentuais de cobertura aproximaram-se ao ponto de se sobreporem.

A partir de $k = 10$, a diferença entre as três abordagens passa a ser significativa, por conseguinte, na medida em que k assume valores maiores, os percentuais de cobertura obtidos pelas duas abordagens evolutivas claramente superam os resultados do MCTTP-g. Com exceção de $k = 5$, que não houve melhora significativa, os percentuais de cobertura alcançados com a solução do MCTTP-c são superiores para todos os valores de k . A sutil diferença entre os resultados do MCTTP-c e MCTTP-cv prevalece nos demais casos analisados.

Como forma de analisar a significância estatística de cada caso, o intervalo de

confiança foi calculado para as soluções baseadas em abordagens evolutivas. A Tabela 1 sintetiza os resultados encontrados para um intervalo de confiança (IC) de 95%, nível de significância α de 5%, o percentual médio e o percentual da melhor solução obtida para cada implementação do algoritmo genético.

Tabela 1. Variação do número de PDs

		5	10	15	20	25
MCTTP-c	Melhor	11.28	18.75	24.77	30.22	34.86
	Média	11.25	18.75	24.75	29.95	34.67
	IC	(11.20, 11.29)	(18.75, 18.75)	(24.72, 24.78)	(29.84, 30.06)	(34.51, 34.83)
MCTTP-cv	Melhor	11.28	18.62	24.10	29.63	34.30
	Média	11.28	18.47	23.69	29.09	33.94
	IC	(11.28, 11.28)	(18.38, 18.57)	(23.48, 23.90)	(28.89, 29.29)	(33.78, 34.10)
MCTTP-g		10.97	16.38	21.19	26.95	<u>30.89</u>

Considerando todos os valores de k , o melhor resultado do MCTTP-c em relação ao MCTTP-g foi em $k = 25$ (sublinhado), com um ganho na cobertura dos veículos de 3.78% (4.479 veículos cobertos). Por outro lado, o menor ganho para os algoritmos considerados foi em $k = 5$ com um ganho de 0.28% (331 veículos cobertos) na cobertura dos veículos. Ao comparar as duas abordagens evolutivas, a pequena diferença nos resultados das duas soluções torna-se mais notável. O maior aumento de cobertura obtido pelo MCTTP-c foi em $k = 15$ (em negrito), com um ganho de 1.06% (1.255 veículos cobertos) em relação ao MCTTP-cv.

Dentre os casos mencionados, $k = 5$ foi a única ocorrência em que a média do MCTTP-cv foi superior à média do MCTTP-c. Mesmo com uma diferença discreta entre as duas médias, a sobreposição nos intervalos de confiança revela que não existe diferença significativa entre os dois casos, em razão disto, não é possível assumir que os resultados do MCTTP-c sejam inferiores aos do MCTTP-cv. Para os outros casos, indo de acordo com resultados apresentados anteriormente, a solução baseada em centralidade exhibe uma média superior às médias do MCTTP-cv e MCTTP-g. Não somente isso, a partir do intervalo de confiança é possível evidenciar que a diferença entre os algoritmos genéticos possui significância estatística para todos os casos a partir de $k = 10$.

6. Conclusão

Este trabalho apresentou uma solução para a instalação de PDs que foi modelada como o problema da máxima cobertura com tempo de contato, onde um número limitado de PDs deveria maximizar a cobertura dos veículos no cenário por um tempo mínimo de contato. A solução utilizou o *betweenness centrality* para encontrar interseções com potencial de compor soluções do algoritmo genético. Nossa abordagem, quando comparada com outras duas soluções da literatura, obteve resultados satisfatórios, conseguindo um aumento na cobertura dos veículos de até 3.78% (4.479 veículos cobertos) em relação ao MCTTP-g. Para o MCTTP-cv, a diferença apesar de ser mais discreta, onde o melhor resultado foi um ganho de 1.06% (1.255 veículos cobertos), mostra que através de centralidade é possível encontrar soluções que superam aquelas fornecidas pela abordagem evolutiva com informação proveniente da abordagem gulosa. Como trabalhos futuros, pode-se destacar a utilização de outras medidas a fim de selecionar as interseções em

regiões de trânsito menos caótico. Além disso, examinar o problema por intermédio de modelos de propagação de sinal ou de obstáculos.

Referências

- Al-Sultan, S., Al-Doori, M. M., Al-Bayatti, A. H., and Zedan, H. (2014). A comprehensive survey on vehicular Ad Hoc network. *JNCA*, 37(1):380–392.
- Aslam, B., Amjad, F., and Zou, C. C. (2012). Optimal roadside units placement in urban areas for vehicular networks. *Proceedings - ISCC*, 1:423–429.
- Ben Brahim, M., Drira, W., and Filali, F. (2015). Roadside units placement within city-scaled area in vehicular ad-hoc networks. *ICCVE*, pages 1010–1016.
- Blondel, V. D., Guillaume, J.-L., Lambiotte, R., and Lefebvre, E. (2008). Fast unfolding of communities in large networks. *JSTAT*, 10008(10):6.
- Brandes, U. (2001). A faster algorithm for betweenness centrality. *Journal of Mathematical Sociology*, 25:163–177.
- Cavalcante, E. S., Aquino, A. L., Pappa, G. L., and a.F. Loureiro, A. (2012). Roadside unit deployment for information dissemination in a VANET. *GECCO*, page 27.
- Chi, J., Do, S., and Park, S. (2016). Traffic flow-based roadside unit allocation strategy for VANET. *BigComp*, pages 245–250.
- Cumbal, R., Palacios, H., and Hincapié, R. (2016). Optimum Deployment of RSU for efficient communications multi-hop from vehicle to infrastructure on VANET. *COLCOM*.
- Fortunato, S. (2010). Community detection in graphs. *Physics Reports*, 486(3-5):75–174.
- Hochbaum, D. S. (1997). *Approximation Algorithms for NP-hard Problems*. PWS Publishing Co., Boston, MA, USA.
- Khuller, S., Moss, A., and (Seffi)Naor, J. (1999). The budgeted maximum coverage problem. *Inf. Process. Lett.*, 70(1):39–45.
- Liang, Y., Liu, H., and Rajan, D. (2012). Optimal placement and configuration of roadside units in vehicular networks. *IEEE Vehicular Technology Conference*.
- Meguerdichian, S., Koushanfar, F., Potkonjak, M., and Srivastava, M. B. (2001). Coverage problems in wireless ad-hoc sensor networks. *IEEE INFOCOM*, 3:1380–1387.
- Newman, M. E. J. (2004). Analysis of weighted networks. *Physical Review E - Statistical, Nonlinear, and Soft Matter Physics*, 70(5 2).
- Silva, C. M., Aquino, A. L., and Jr., W. M. (2015). Deployment of roadside units based on partial mobility information. *Computer Communications*, 60:28–39.
- Silva, C. M., Aquino, A. L. L., and Meira, W. (2014). Design of roadside infrastructure for information dissemination in vehicular networks. *NOMS*.
- Trullols, O., Fiore, M., Casetti, C., Chiasserini, C., and Ordinas, J. B. (2010). Planning roadside infrastructure for information dissemination in intelligent transportation systems. *Computer Communications*, 33(4):432–442.
- Xiong, Y., Ma, J., Wang, W., and Tu, D. (2013). RoadGate: Mobility-centric roadside units deployment for vehicular networks. *IJDSN*, 2013.

Uma Plataforma Escalável para Desenvolvimento de Aplicações de IoT

Jorge Pereira¹, Thais Batista¹, Flavia C. Delicato², Paulo F. Pires²

¹Departamento de Informática (DIMAp)
Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)
Natal - RN

²Departamento de Ciência da Computação (DCC)
Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)
Rio de Janeiro - RJ

jorgepereirasb@gmail.com, thais@ufrnet.br, fdelicato@gmail.com,
paulo.f.pires@gmail.com

Abstract. *The Internet of Things (IoT) is an emergent paradigm that connects physical devices to the digital world, allowing the building of a myriad of applications. These applications need to be built and executed in a scalable way to support many connected devices as well as to store and process the huge amount of data they produce. Additionally, IoT applications also need to deal with several different protocols. In this context, this paper presents the EcoCIT platform, a scalable middleware platform that supports the integration of IoT devices to the Internet, as well as the development and execution of IoT applications with scalability requirements using on-demand computing services provided by cloud computing platforms.*

Resumo. *A Internet das coisas (IoT) é um paradigma emergente que conecta dispositivos físicos ao mundo digital, permitindo a construção de uma miríade de aplicações. Desenvolver aplicações para de IoT não é uma tarefa trivial. Tais aplicações precisam ser construídas atendendo requisitos de escalabilidade a fim de suportar um grande número de dispositivos conectados, além de armazenar e processar a enorme quantidade de dados produzida. Além disso, as aplicações precisam lidar com protocolos distintos. Nessa perspectiva, o presente artigo apresenta a EcoCIT, uma plataforma de middleware escalável que provê suporte para a integração de dispositivos de IoT à Internet, bem como ao desenvolvimento e execução de aplicações de IoT com requisitos de escalabilidade através do uso serviços computacionais providos sob demanda por plataformas de computação em nuvem.*

1. Introdução

A *Internet das Coisas* (do inglês, *Internet of Things –IoT*) é um paradigma emergente que abrange uma infraestrutura de hardware, software e serviços que conectam objetos físicos, denominados como *coisas*, à Internet (Commission of the European Communities 2008), permitindo o surgimento de uma miríade de aplicações que poderão se beneficiar dos novos tipos de dados, serviços e operações disponíveis. Segundo (Walport 2014), em 2014 existiam cerca de 14 bilhões de dispositivos

conectados à Internet e estima-se que, em 2020, esse número chegará a 100 bilhões. Devido ao grande número de dispositivos, a IoT caracteriza-se por uma enorme *heterogeneidade*, uma vez que os dispositivos e os componentes de software que os gerenciam são desenvolvidos por diversos fabricantes e sem padronização. Outra característica marcante desse paradigma é a *dinamicidade*. Em IoT, os objetos podem tornar-se indisponíveis devido a vários fatores, tais como: mobilidade dos dispositivos, ausência de rede, disponibilidade energética, etc.

Devido a essas características, desenvolver aplicações para IoT envolve, em muitos casos, lidar com diversos dispositivos, protocolos e formatos de dados que não seguem uma padronização comum, bem como usar um número desconhecido de dispositivos que podem ou não estar disponíveis. Nesse contexto, plataformas de *middleware* surgem como soluções promissoras para prover interoperabilidade e gerenciar a crescente variedade de dispositivos associados às aplicações, bem como o consumo de dados por parte dos usuários finais (Teixeira, et al. 2011). Dada a *dinamicidade* desse ambiente, tais plataformas precisam ter a capacidade de assimilar um número crescente de dispositivos e requisições e funcionar corretamente, mesmo em situações de uso intenso (Pires, Delicato, et al. 2015). Para satisfazer esse requisito, as plataformas devem ajustar a quantidade de recursos computacionais consumidos de acordo com a necessidade. Nesse contexto, autores como (Gubbi, et al. 2013) (Pires, Delicato, et al. 2015) (Cavalcante, et al. 2016) afirmam que o paradigma de *computação em nuvem* é um candidato natural para complementar a IoT, no sentido de prover escalabilidade e serviços sob demanda para este ambiente altamente dinâmico. A integração entre IoT e computação em nuvem dá origem ao paradigma conhecido como *Nuvem das Coisas* (do inglês, *Cloud of Things – CoT*) (Aazam, et al. 2014).

Embora a integração entre os dois ambientes (IoT e cloud) seja o ponto chave na concepção do paradigma emergente de CoT, atualmente a maioria das iniciativas existentes nessa direção ainda estão em estado inicial de desenvolvimento e/ou não foram completamente validadas (Cavalcante, et al. 2016) (Nastic, et al. 2014). Aplicações nesse contexto devem refletir a quantidade de recursos computacionais demandada pelos usuários e dispositivos de IoT e, ativamente, ajustar essa demanda à quantidade de recursos alocada na infraestrutura de nuvem subjacente (Serrano, et al. 2013). No entanto, gerenciar tal elasticidade no contexto de CoT ainda é um desafio (Nastic, et al. 2014) (Serrano, et al. 2013).

Nesse contexto, apresentamos a *EcoCIT* (*Ecosystem of Cloud and Internet of Things*), uma plataforma de middleware para CoT que oferece suporte à conexão de dispositivos de IoT à Internet, bem como ao desenvolvimento e execução de aplicações de IoT com requisitos de escalabilidade através do uso de serviços computacionais providos sob demanda por plataformas de computação em nuvem. A *EcoCIT* surgiu como uma evolução da plataforma *EcoDiF* (Ecosistema Web de Dispositivos Físicos) (Pires, Cavalcante, et al. 2014). Apesar de oferecer suporte a conexão de dispositivos físicos à Internet e ao desenvolvimento aplicações, em seu projeto, a *EcoDiF* não levou em conta, como requisitos fundamentais, questões relacionadas à escalabilidade. Como consequência, a plataforma é capaz de suportar apenas um número limitado de dispositivos, usuários e aplicações conectadas a mesma. Além disso, a plataforma não é capaz de suportar a enorme quantidade de dados que os dispositivos de IoT podem

gerar. Na *EcoCIT* a quantidade de recursos computacionais alocada na infraestrutura de nuvem subjacente é ajustada dinamicamente em resposta ao aumento ou diminuição da carga de trabalho demandada pelos dispositivos, aplicações e usuários conectados a mesma. Além disso a plataforma utiliza SGDBs escaláveis e distribuídos para gerenciar os dados produzidos pelos dispositivos e aplicações conectadas.

O resto desse artigo está estruturado como segue: A seção 2 descreve a *EcoDiF*, plataforma que serviu como base para construir a *EcoCIT*; a seção 3 apresenta a arquitetura e o funcionamento da *EcoCIT*; a seção 4 apresenta um experimento computacional que compara a escalabilidade da *EcoCIT* em relação à *EcoDiF*, mostrando que, de fato, a nova plataforma tem escalabilidade superior à sua predecessora; a seção 5 apresenta trabalhos relacionados; e a seção 6 conclui o trabalho.

2. EcoDiF

A *EcoDiF* é uma plataforma de middleware que integra dispositivos de IoT e os conecta à Internet, fornecendo funcionalidades de controle, visualização e armazenamento de dados em tempo real. A plataforma provê uma interface bem definida, baseada em REST (Fielding e Taylor 2002), para expor as funcionalidades dos dispositivos na Web, provendo padronização e simplificação do processo de desenvolvimento de aplicações, além de minimizar barreiras no tocante à incompatibilidade entre diferentes fabricantes, protocolos proprietários e formatos de dados. A *EcoDiF* provê ainda suporte à execução de aplicações que possam fazer uso das funcionalidades e dados providos pelos dispositivos a ela conectados.

Em sua arquitetura a *EcoDiF* conta com os seguintes módulos: i) *Módulo de Conexão de Dispositivos*, que visa facilitar a conexão de dispositivos físicos à plataforma. Esse módulo oferece um API, baseada em REST, por meio da qual os dispositivos podem compartilhar seus dados através da plataforma; ii) *Módulo de Manipulação de Dados*, que gerencia o acesso aos dados produzidos pelos dispositivos conectados; iii) *Módulo de Visualização e Gerenciamento*, o qual provê uma interface Web para permitir aos usuários monitorar o estado e localização de seus dispositivos, bem como visualizar dados históricos armazenados; iii) *Módulo de Colaboração*, que visa facilitar a colaboração entre usuários da *EcoDiF*, permitindo realizar buscas por dispositivos e aplicações a partir de seus respectivos *metadados* (tipo, usuário, localização, etc); iv) *Módulo de Armazenamento*, que consiste de dois repositórios básicos, um para armazenamento de dados utilizando uma base de dados relacional, e outro para armazenamento de scripts de aplicações em um sistema de arquivos; v) *Módulo de Segurança*, gerencia a autenticação e autorização dos usuários conectados à plataforma; vi) *Módulo de Serviços Comuns*, envolve serviços de infraestrutura providos pela plataforma, tais como, gerenciamento de ciclo de vida de aplicações, transações, etc; e por fim, vii) *Módulo de Aplicações*, que provê um modelo e um ambiente para programação e execução de aplicações que fazem uso dos dados disponíveis na *EcoDiF*. Essas aplicações são construídas como *mashups* (Guinard et al., 2009) e utilizando a linguagem EMMML (*Enterprise Mashup Markup Language*). Os *mashups* são implementadas como scripts escritos em EMMML e executadas em um motor (*engine*) de execução que processa tais scripts.

Dadas as funcionalidades providas pela plataforma, a *EcoDiF* possui quatro perfis de *stakeholders*: i) *fabricantes de dispositivos*, responsáveis por desenvolver drivers que irão realizar a comunicação entre os dispositivos e a *EcoDiF* através da API REST provida pela plataforma; ii) *provedor de dados*, que são os proprietários dos dispositivos, que disponibilizam os dados por eles aferidos; iii) *desenvolvedores de aplicações*, que constroem as aplicações que fazem uso dos dados disponíveis na plataforma; e, por fim, iv) *consumidores de dados*, os usuários que interagem com a plataforma para buscar e utilizar informações disponíveis.

Apesar de oferecer diversas facilidades para integração de dispositivos de IoT e desenvolvimento de aplicações, a *EcoDiF* foi projetada para executar sobre um único servidor. Além disso, o sistema de armazenamento por ela utilizado é centralizado, ou seja, todos os dados residem em uma única máquina. Esses fatores limitam sua capacidade de gerenciar grandes volumes de dados e atender a um grande número de dispositivos, usuários e aplicações. Como consequência de executar sobre um único servidor e de usar tecnologias de armazenamento centralizadas, incrementar a capacidade de processamento, memória, rede e armazenamento da plataforma implica transferi-la para uma máquina mais robusta ou adicionar manualmente novos recursos (processadores, pentes de memória, discos de armazenamento, placas de rede, etc) ao servidor existente. A fim de superar essas limitações esse trabalho apresenta a plataforma *EcoCIT*.

3. EcoCIT

Como explicado, a *EcoCIT* surgiu como uma evolução da *EcoDiF*. Em sua arquitetura, a *EcoCIT* herdou diversas funcionalidades e módulos da *EcoDiF*, alguns dos quais foram alterados a fim superar suas limitações relacionadas à escalabilidade. O componente de software resultante das alterações realizadas sobre a *EcoDiF* foi denominado *EcoCIT Middleware*. O *EcoCIT Middleware* é, no entanto, apenas um dos componentes da arquitetura da *EcoCIT*. Ele provê todas as funcionalidades originalmente providas pela *EcoDiF*. Adicionalmente, a arquitetura da *EcoCIT* conta com cinco outros componentes que contribuem para lhe conferir escalabilidade e elasticidade. A visão geral da arquitetura da *EcoCIT* e o detalhamento de cada um dos componentes é descrita na seção 3.1. As alterações realizadas sobre os módulos da *EcoDiF* para a concepção do *EcoCIT Middleware* são descritas na seção 3.2.

3.1 Arquitetura da EcoCIT

A arquitetura da *EcoCIT* é composta por diversos componentes organizados de maneira distribuída. A arquitetura faz uso de recursos computacionais providos por uma plataforma de nuvem que oferece serviços a nível de *IaaS* (Infraestrutura como Serviço, do inglês, *Infrastructure as a Service*). Para permitir que a *EcoCIT* possa, de fato, fazer uso da elasticidade que o ambiente de computação em nuvem pode prover e, com isso, atender a um número grande de usuários e dispositivos a ela conectados, sua arquitetura permite que diversas máquinas possam trabalhar de maneira agrupada sob a forma de um *cluster*. A carga de trabalho (requisições realizadas à plataforma) é distribuída entre as máquinas que fazem parte do *cluster*. A capacidade do *cluster* pode ser incrementada e reduzida em tempo de execução através da adição e remoção de servidores.

A arquitetura da *EcoCIT* está estruturada conforme ilustra a Figura 1. Um *cluster* composto por diversas máquinas virtuais (VM1, VM2, ... , VMn) cada uma das quais contém uma instancia do *VM Monitor*, *EcoCIT Middleware* e *Oauth Server*. Tais máquinas realizam o processamento das requisições dos usuários e dispositivos conectados à plataforma, enquanto uma outra máquina hospeda o componente *VM Manager*, que realiza o balanceamento da carga de trabalho entre as diversas instâncias do *EcoCIT Middleware* e gerencia a adição e remoção de máquinas virtuais ao *cluster* conforme a demanda, de modo que a quantidade de recursos alocada na infraestrutura de nuvem subjacente seja proporcional à necessidade demandada pelos usuários. Os dados estruturados gerenciados pela plataforma são armazenados no *NewSQL DB*, enquanto que os dados menos estruturados produzidos pelos dispositivos são armazenados no *NoSQL DB*. Ambos são SGBDS escaláveis e distribuídos.

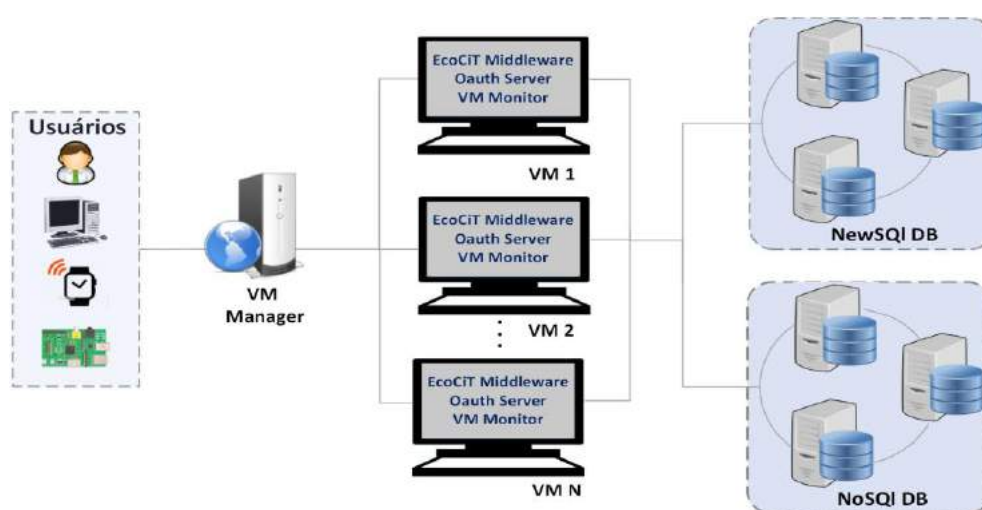


Figura 1. Visão geral da arquitetura da EcoCIT

Nessa arquitetura, o componente *EcoCIT Middleware* provê funcionalidades de controle e gerenciamento de *feeds*, dispositivos, usuários e aplicações. Essas funcionalidades podem ser acessadas via interface Web ou via API REST. A autenticação dos usuários que fazem uso da API REST provida pela plataforma é gerenciada pelo componente *Oauth Server*, um servidor de autorização que gerencia o acesso à API da *EcoCIT* com base no protocolo *Oauth* (Jones e Hardt 2012). As *Virtual Machines (VMs)*, por sua vez, são responsáveis por alojar uma instância do *EcoCIT Middleware*, *Oauth Server* e do *VM Monitor*, permitindo a execução dos mesmos.

O *VM Monitor* é responsável por monitorar o consumo de recursos computacionais (processamento, memória e rede) em cada uma das *VMs* instanciadas e por emitir alertas ao *VM Manager* quando for verificado que alguma das máquinas está sobrecarregada ou ociosa. O *NewSQL DB* é um SGBD escalável e distribuído do tipo *NewSQL* que permite armazenar as informações estruturadas gerenciadas pela *EcoCIT*, tais como os dados dos usuários, aplicações, dispositivos conectados, etc. Já o *NoSQL DB* é um SGBD do tipo *NoSQL* utilizado para armazenar os dados gerenciados pelo *Oauth Server* e os dados produzidos pelos dispositivos conectados à plataforma. Por ser um SGBD altamente escalável, robusto e capaz de armazenar e recuperar os dados produzidos pelos sensores de forma rápida e eficiente, o SGBD *Apache Cassandra* foi escolhido para fazer o papel do *NoSQL DB*. Para fazer o papel do *NewSQL DB* foi

utilizado o SGBD *NuoDB*, além de ser um SGBD escalável e distribuído o *NuoDB* permite armazenar dados estruturados mantendo as propriedades de atomicidade, consistência, isolamento e durabilidade em todas as suas transações.

Por fim, o *VM Manager*, tem o papel de gerenciar o *cluster* de *VMs*, além de distribuir a carga de trabalho (requisições) entre as diversas *VMs* pertencentes ao *cluster*. O *VM Manager* é composto internamente por dois componentes: *i)* uma aplicação JAVA que consome as métricas de uso de recursos computacionais monitoradas pelo *VM Monitor*, e com base nelas, decide quando é necessário instanciar uma nova *VM* para dividir com as demais a carga de trabalho, ou quando, por motivos de ociosidade dos recursos, é necessário desativar ou deletar parte das *VMs* pertencentes ao *cluster*; e *ii)* pelo balanceador de carga, que gerencia a distribuição das requisições HTTP dos usuários entre as diversas instâncias do *EcoCIT Middleware*. Para permitir que o estado das conexões (*sessões*) dos usuários que estão conectados à plataforma via interface Web não seja perdido quando uma *VM* é deletada, as sessões dos usuários são replicadas entre todas as máquinas pertencentes ao *cluster*.

A interação entre o *VM Manager* e a infraestrutura de nuvem subjacente a fim de instanciar e deletar VMs ocorre por meio de drivers desenvolvidos especificamente para a plataforma de nuvem usada para implantar a *EcoCIT*. Os drivers são componentes plugáveis que são anexados à plataforma. Atualmente existem drivers para as plataformas *Amazon EC2* e *OpenStack*. Informações referentes ao driver a ser utilizado, quantidade máxima de *VMs* que podem ser instanciadas e configuração de hardware das mesmas são especificadas em um arquivo de configuração utilizado pelo *VM Manager*.

3.2 EcoCIT Middleware

Como mencionado, o *EcoCIT Middleware* é um componente resultante das modificações realizadas sobre a *EcoDiF*. No total, três módulos da *EcoDiF* foram alterados para a concepção do *EcoCIT Middleware*: *Módulo de Armazenamento*, *Módulo de Aplicações* e *Módulo de Segurança*. Além dessas alterações, o antigo sistema de armazenamento usado pela *EcoDiF* foi removido para dar espaço aos SGBDs do tipo *NewSQL* e *NoSQL*.

Na *EcoDiF*, o *Módulo de Armazenamento* utiliza sistema de arquivos e um SGBD centralizado como suporte ao armazenamento de informações. Como consequência, a quantidade de inserções e consultas simultâneas realizadas sobre o banco de dados, bem como a quantidade de informações que podem ser armazenadas é bastante limitada. Na concepção do *EcoCIT Middleware* esse módulo foi alterado a fim de fazer uso dos sistemas de armazenamento providos pelo *NewSQL DB* e *NoSQL DB*, que são capazes de operar de maneira distribuída e escalar horizontalmente (com a adição de novos nós). Da mesma forma, na *EcoDiF* o *Módulo de Segurança* faz uso do antigo SGBD centralizado utilizado pela plataforma para consultar informações referentes aos usuários e gerenciar a autenticação e autorização dos usuários que acessam a plataforma via interface WEB. Com a remoção desse SGBD no processo de concepção da *EcoCIT*, esse módulo foi alterado para passar a fazer uso do *NewSQL DB*.

Por fim, na *EcoDiF* o *Módulo de Aplicações* utilizava sistemas de arquivos para armazenar os *mashups* criados pelos desenvolvedores de aplicações. Na *EcoCIT* as máquinas virtuais que dão suporte à execução da plataforma são criadas e deletadas

dinamicamente, dessa forma, não seria viável armazenar essas aplicações no sistema de arquivos das *VMs*. Portanto, o *Módulo de Aplicações* foi alterado para que passe a armazenar esses arquivos no *NewSQL DB*.

4 Avaliação

A fim de verificar se as modificações realizadas sobre a arquitetura da *EcoDiF* para a concepção da *EcoCIT* de fato tornam a nova plataforma mais escalável em comparação com sua predecessora, um experimento computacional foi conduzido. O experimento consistiu em estressar ambas as plataformas simulando diversos dispositivos e usuários acessando sua API REST simultaneamente. Utilizando a ferramenta para testes de sistemas Web *JMeter*, foram realizados sucessivos testes de carga em ambas as plataformas. Os testes de carga simularam um grupo de usuários que realizam um número fixo de requisições à plataforma a fim de atualizar e consumir dados providos por dispositivos de IoT. O número inicial de requisições simultâneas realizadas a cada plataforma foi fixado em 100. Ao longo dos testes esse número foi incrementado gradualmente em 100 unidades até chegar ao limite suportado por ambas as plataformas. Esse limite é alcançado quando parte das requisições falham. Requisições cujo tempo de resposta foram superiores a 12 segundos ou que retornaram um *status code* diferente de 200 (*status code OK*) foram consideradas como falhas.

Ambas as plataformas foram instaladas em *VMs* instanciadas sobre a plataforma de computação em nuvem *Amazon EC2*. Como explicado, a arquitetura da *EcoDiF* não foi projetada para executar sobre múltiplos servidores, no máximo a plataforma é capaz de fazer uso de duas máquinas, uma para suportar a plataforma propriamente dita e outra para suportar o SGBD centralizado utilizado pela mesma. Portanto, para a instalação da *EcoDiF* duas *VMs* foram utilizadas. Para a instalação da *EcoCIT* foram usadas 2 *VMs* para a instalação do SGBD *Apache Cassandra*, 1 *VM* para instalação da versão community do SGBD *NuoDB*, 1 *VM* para a instalação do *VM Manager* e, por fim, inicialmente foi instanciada pelo *VM Manager* 1 *VM* contendo uma instancia do *EcoCIT Middleware*, *VM Monitor* e *Oauth Server*. O limite máximo de máquinas a serem instanciadas pelo *VM Manager* foi definido em 3. Assim, até duas outras *VMs* poderiam ser instanciadas pelo *VM Manager* e adicionadas ao *cluster*, conforme a necessidade.

Todas as *VMs* usadas para a instalação de ambas as plataformas possuíam mesmas configurações de hardware e sistema operacional. Cada *VM* possuía 2 CPUS virtuais, 4 GB de memória RAM, 1 placa de rede virtual e utilizavam o S.O. *Ubuntu Server* 16.4. A *VM* utilizada para realizar os testes de carga possuía as seguintes configurações: 4 CPUS virtuais, 8 GB de memória RAM, 1 placa de rede virtual e fazia uso do sistema operacional *Windows Server* 2016. Os resultados obtidos com a realização do experimento são sumarizados no gráfico da Figura 2.

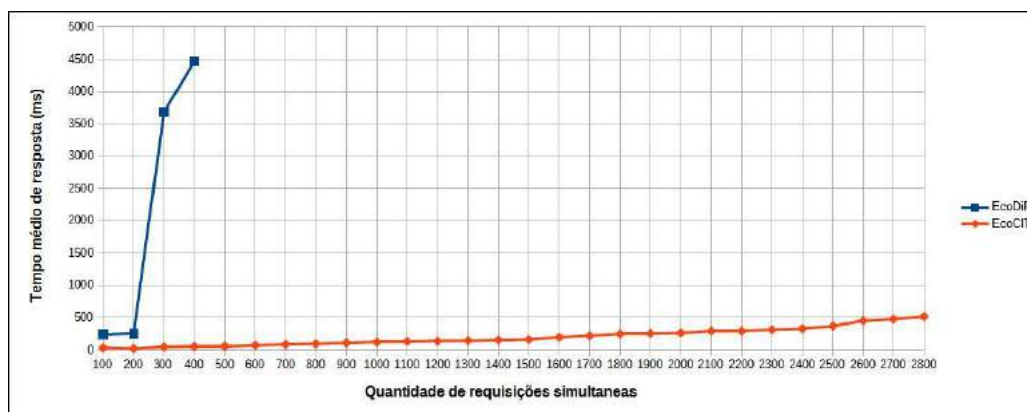


Figura 2. Resultado dos testes realizados sobre as plataformas EcoCIT e EcoDiF

Como se pode observar, a *EcoDiF* foi capaz de suportar até 400 requisições simultâneas. Acima desse número parte das requisições falharam devido ao fato de as *VMs* utilizadas para suportar a plataforma e o SGBD relacional utilizado pela mesma terem exaurido toda sua capacidade de processamento e memória. Dada a sua capacidade de executar de maneira distribuída e de dividir a carga de trabalho entre diversas *VMs*, a *EcoCIT* foi capaz de suportar um número bem maior de requisições simultâneas, chegando a 2800. Além disso, o tempo de resposta às requisições realizadas a *EcoCIT* foi bem menor que o tempo de resposta das requisições à *EcoDiF*. Esses resultados mostram que as alterações realizadas sobre a arquitetura da *EcoDiF* para a concepção da *EcoCIT* tiveram impacto positivo na escalabilidade da plataforma. Também é importante ressaltar que a arquitetura da *EcoCIT* permite escalar, a fim de que sua capacidade vá além do que foi explorado nesse experimento. Diferente da *EcoDiF*, sua arquitetura permite, em tempo de execução, adicionar novos nós aos SGBDs utilizados, tornando as consultas mais rápidas. Além disso, também é possível definir, no arquivo de configuração do *VM Manager*, um número maior de *VMs* que podem ser instanciadas e adicionadas ao *cluster* para atender requisições dos usuários.

5 Trabalhos relacionados

Como discutido anteriormente, desenvolver aplicações de IoT não é uma tarefa trivial, pois para isso frequentemente os desenvolvedores precisam lidar com questões relacionadas a escalabilidade e com um grande número de dispositivos heterogêneos. Esses desafios têm motivado o desenvolvimento de plataformas de middleware que oferecem facilidades para o desenvolvimento de aplicações de IoT. A título de exemplo, o trabalho proposto por (Lopes, et al. 2013) apresenta o *EXEHDA-UC*, uma arquitetura distribuída para suporte ao gerenciamento da aquisição, armazenamento e processamento dos dados produzidos por dispositivos de IoT. A arquitetura conta com componentes para aquisição de informações provenientes dos dispositivos, consulta a dados históricos sensorizados e consulta em tempo real a informações provenientes de sensores. A arquitetura também conta com um módulo que gerencia regras para manipulação e dedução de informações com base nos dados armazenados.

A plataforma *ManIoT* (Antunes, et al. 2016) permite integrar e gerenciar dispositivos de IoT à internet, oferecendo seus dados e funcionalidades de maneira padronizada, via REST, para facilitar o desenvolvimento de aplicações. Além de facilitar a integração e gerenciamento dos dispositivos, a plataforma também provê funcionalidades de: armazenamento de dados históricos aferidos pelos dispositivos; agendamento de ações a serem realizadas sobre os dispositivos (por exemplo, ligar ou desligar um aparelho); comunicação assíncrona, a fim de notificar à aplicações a ocorrência de ventos detectados pelos dispositivos, e etc.

O *Kaa*¹ é uma plataforma de middleware *open-source*, flexível e capaz de escalar de maneira horizontal. Ele oferece suporte para a gerenciamento e conexão de dispositivos de IoT à Internet, armazenamento e processamento de dados, além de oferecer APIs para desenvolvimento de aplicações que façam uso dos dados providos pelos dispositivos. O *Kaa* tem como foco acelerar o desenvolvimento de aplicações no domínio de IoT, oferecendo diversas abstrações que podem ser utilizadas pelos desenvolvedores para tal.

A *EcoCIT* tem como diferencial em relação às duas primeiras propostas supracitadas a capacidade de escalar de maneira horizontal a fim de suportar um grande número de dispositivos e usuários conectados. Como diferencial em relação a todas as propostas supracitadas, a *EcoCIT* tem a capacidade de fazer uso de serviços providos sob demanda por plataformas de computação em nuvem.

6 Considerações Finais

Este trabalho apresentou a *EcoCIT*, uma plataforma de middleware escalável para suporte ao desenvolvimento de aplicações de IoT, que é uma evolução da *EcoDiF*. Foram apresentadas as modificações realizadas sobre a arquitetura da *EcoDiF* para a concepção de *EcoCIT* e sua integração com plataformas de computação em nuvem. Essas alterações permitem à *EcoCIT* gerenciar um maior volume de dados proveniente de dispositivos de IoT, também permitem que a plataforma possa escalar de maneira horizontal, ou seja, através da adição de novas máquinas à sua arquitetura e a consumir recursos computacionais providos sob demanda por plataformas de computação em nuvem. O experimento computacional apresentado na seção 5 mostra que, de fato, essas alterações tiveram impacto positivo na escalabilidade da plataforma.

Apesar dos benefícios alcançados com a concepção da *EcoCIT*, a plataforma possui ainda algumas limitações. Algumas dessas dizem respeito ao componente *VM Manager* que, diferentemente dos outros componentes da arquitetura (*NewSQL DB*, *NoSQL DB* e do *cluster* de *VMs* utilizado para processar as requisições dos usuários), que podem ter sua capacidade incrementada em tempo de execução através da adição de novos nós, não existe na *EcoCIT* uma estratégia que permita incrementar em tempo de execução a capacidade de processamento, memória e rede do *VM Manager* em casos de necessidade. Portanto, um dos trabalhos futuros consiste em propor uma estratégia para superar essa limitação. Outro trabalho futuro consiste em propor mecanismos de tolerância a falhas para a *EcoCIT* a fim de tornar a plataforma mais resiliente.

¹ **Kaa**: <https://www.kaaproject.org/>

Agradecimentos

Esse trabalho foi parcialmente financiado pelo CNPq e pelo Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia para Engenharia de Software (INES)². Thais Batista, Flavia C. Delicato e Paulo F. Pires são bolsistas de produtividade do CNPq.

Referências

- Antunes, Josué B., e outros. “ManIoT: Uma Plataforma para Gerenciamento de Dispositivos da Internet das Coisas.” Workshop de Gerência e Operação de Redes e Serviços (WGRS). Salvador, Bahia, 2016. 3-16.
- Cavalcante, Everton, et al. “On the interplay of Internet of Things and Cloud Computing: A systematic mapping study.” *Computer Communications* 89-90 (Março 2016): 17–33.
- Commission of the European Communities. “Early Challenges regarding the “Internet of Things”.” Bruxelas, 2008.
- Fielding, Roy T., e Richard N. Taylor. “Principled design of the modern Web architecture.” *ACM Transactions on Internet Technology (TOIT)*, 2002: 115-150 .
- Gubbi, Jayavardhana et al. “Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions.” *Future Generation Computer Systems* 29, n. 7 (Setembro 2013): 1645–1660. Kitchenham, B.A., e S. Charters. “Guidelines for Performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering.” University/University of Durham, Keele, 2007.
- Lopes, Joao L. B., et al. “Uma arquitetura distribuída direcionada à consciência de contexto na Computação Ubíqua.” *Simpósio Brasileiro de Computação Ubíqua e Pervasiva (SBCUP)*. Porto Alegre, 2013. 2022-2031.
- Nastic, Stefan et al. “Provisioning Software-defined IoT Cloud Systems.” *Int. Conf. on Future Internet of Things and Cloud*. Washington, USA: IEEE Computer Society, 2014. 288-295.
- Pires, Paulo F., et al. “A platform for integrating physical devices in the internet of things.” *Embedded and Ubiquitous Computing (EUC)*. Milano:, 2014. 234-241.
- Pires, Paulo F., e outros. “Plataformas para a Internet das Coisas.” *Minicurso do Simpósio Brasileiro de Rede de Computadores (SBRC)*, Vitória - ES, 2015.
- Serrano, Martin, et al. “Resource Optimisation in IoT Cloud Systems by Using Matchmaking and Self-management Principles.” *Cáp. 11 em THE FUTURE INTERNET*, edição: Alex Galis e Anastasius Gavras. Berlin: Springer, 2013.
- Teixeira, T., S. Hachem, V. Issarny, e N Georgantas. “Service oriented middleware for the Internet of Things: A perspective.” *4th European Conference on Towards a Service-Based Internet*. Poznan, Poland: LNCS, 2011. 220-229.
- Walport, Mark. “The Internet of Things: making the most of the Second Digital Revolution.” *UK Government Chief Scientific Adviser*, 2014.
- Guinard, D., Trifa, V. “Towards the Web of Things: Web mashups for embedded devices”, *Proceedings of the 2nd Workshop on Mashups, Enterprise Mashups and Lightweight Composition on the Web*, 2009.

² <http://www.ines.org.br/>

11° BreSci - Brazilian e-Science Workshop

Apresentação

Nas últimas décadas, tem havido uma revolução no modo como a ciência e a engenharia têm sido conduzidas, ao se utilizar de forma intensiva as tecnologias de informação e comunicação (TICs). Essa nova forma de realizar a ciência, denominada de e-Science ou e-Ciência, desempenha hoje um papel fundamental na metodologia de trabalho adotada por muitos grupos de pesquisa em todo o mundo.

O XI BreSci tem como objetivo colaborar com os esforços de e-Science propondo um fórum de discussão sobre temas relevantes dessa área de estudo. Além da trilha principal, que tem um escopo mais amplo e mais relacionado com as TICs, o workshop conta também com uma trilha de aplicações específica para discutir temas relacionados às áreas particulares de aplicação da eScience, incluindo (mas não sendo restrito a) bioinformática, astronomia, química e informática na biodiversidade.

A aproximação com pesquisadores dessas áreas da ciência visa a estreitar o relacionamento entre os participantes das diversas áreas. Ademais, essa aproximação propicia a identificação de demandas relativas à infraestrutura computacional sob o ponto de vista das áreas-fim. De outro lado, essa colaboração também propicia às áreas-fim uma melhor difusão das soluções elaboradas pela comunidade de computação.

O BreSci 2017, em sua décima primeira edição, sendo a oitava edição colocada no CSBC, manteve o nome de BreSci e a estrutura do evento de 2016 com apenas duas trilhas: uma trilha de apoio computacional que recebeu submissões de trabalhos completos e uma trilha de aplicações que recebeu trabalhos resumidos das diversas áreas da e-Ciência: bioinformática, astronomia, química, e informática na biodiversidade. Foram submetidos 20 trabalhos no total (onde 7 foram para as trilhas de aplicações), sendo 9 aceitos para publicação como trabalhos completos. Ademais, na trilha de bioinformática foram aceitos 2 resumos. As trilhas de astronomia, química e informática na biodiversidade não tiveram artigos aceitos.

Rafaelli Coutinho (CEFET-RJ), Emanuele Santos (UFC)

Comitê Organizador

Coordenação Geral

Rafaelli Coutinho (CEFET-RJ), Emanuele Santos (UFC)

Comitê Diretivo

Rafaelli Coutinho (CEFET/RJ - co-chair 2017), Emanuele Santos (UFC - co-chair 2017), Kary A. D. C. S. Ocaña (LNCC - co-chair 2016), Regina Maciel Braga (UFJF - co-chair 2016), Luiz M. R. Gadelha Jr. (LNCC - co-chair 2015), Antônio Tadeu A. Gomes (LNCC - co-chair 2014)

Coordenação Local

Fábio Silva Lopes (Mackenzie)

Comitê de Programa

Alberto Krone-Martins (Universidade de Lisboa), Ana Carolina Guimaraes (FIOCRUZ), Andrey Brito (UFCEG), Antonio Miranda (FIOCRUZ), Antonio Tadeu Gomes (LNCC), Bruno Schulze (LNCC), Carla Osthoff (LNCC), Creto Vidal (UFC), Cristina Boeres (UFF), Daniel de Oliveira (UFF), Debora Drucker (EMBRAPA), Diogo Tschoeke (UFRJ), Duncan Ruiz (PUC-RS), Eduardo Bezerra (CEFET/RJ), Eduardo Dalcin (Inst. Pesq. Jardim Botânico) Eduardo Ogasawara (CEFET/RJ), Emanuele Santos (UFC), Fernanda Campos (UFJF), Gilberto Pastorello (Berkeley Lab), Glauber Wagner (UFSC), Joao Gomes (UFC), Joao Setubal (USP), Jonas Dias (DELL EMC), José David (UFJF), José Antonio Macêdo (UFC), Kaline Coutinho (USP), Kary Ocaña (LNCC), Kele Belloze (CEFET/RJ), Leonardo Azevedo (IBM/UNIRIO), Leonardo Murta (UFF), Lucia Drummond (UFF), Luciano Digiampietri (USP), Luiz Manoel Rocha Gadelha Júnior (LNCC), Marco Antonio Araujo (UFJF), Maria Claudia Cavalcanti (IME), Marta Mattoso (COPPE/UFRJ), Nazareno Andrade (UFCEG), Priscila Goliatt (UFJF), Rafaelli Coutinho (CEFET/RJ), Regina Braga (UFJF), Reinaldo de Carvalho (INPE), Ricardo Ogando (ON-MCTI & LIneA), Ricardo Torres (Unicamp), Rita M.C. de Almeida (UFRGS), Ronaldo Goldschmidt (IME), Sergio Lifschitz (PUC-Rio), Sergio Manuel Serra da Cruz (UFRRJ), Silvia Olabarriaga (University of Amsterdam), Tainá Raiol (FIOCRUZ), Ubiratam De Paula (UFRRJ), Victor Stroele (UFJF), Vinod Rebello (UFF), Wagner Arbex (EMPRAPA), Yuri Nogueira (UFC)

Palestras

Keynote - Captura de Proveniência de Scripts: Desafios e Oportunidades

Leonardo Gresta Paulino Murta (Instituto de Computação / UFF)

Proveniência é um elemento chave no contexto de experimentos científicos in-silico, apoiando na interpretação dos resultados, reprodutibilidade, auditoria, depuração, eficiência na execução, etc. Nas últimas décadas, diversos sistemas de gerência de workflows científicos (SGWfC) surgiram, oferecendo ambientes controlados com sólido suporte para a captura de proveniência durante a composição e execução de experimentos científicos in-silico representados por meio de workflows. Entretanto, uma significativa parte da comunidade científica opta por representar seus experimentos científicos in-silico por meio de scripts, perdendo assim o suporte à captura de proveniência. Em face a esse problema, diversas abordagens surgiram recentemente, visando trazer os benefícios já alcançados pelos SGWfC, no que se refere a captura de proveniência, para o contexto de scripts. Contudo, a ausência de um ambiente controlado para execução, juntamente com a grande flexibilidade de notação provida por scripts, traz novos desafios para a coleta de proveniência. Nesta palestra apresentaremos os principais desafios, o estado da arte e as oportunidades de pesquisa em coleta de proveniência de scripts.

Bio: Leonardo Gresta Paulino Murta é Professor Associado do Instituto de Computação da Universidade Federal Fluminense (UFF), Doutor (2006) e Mestre (2002) em Engenharia de Sistemas e Computação pela COPPE/UFRJ, e Bacharel (1999) em Informática pelo IM/UFRJ. Além disso, é bolsista de Produtividade em Pesquisa nível 2 do CNPq desde 2009 e Jovem Cientista da FAPERJ desde 2012. Já publicou mais de 150 artigos em periódicos e congressos, tendo ganho diversos prêmios, dentre eles o ACM SigSoft Distinguished Paper Award, no ASE 2006, e o prêmio de melhor artigo do SBES nas edições de 2009, 2014 e 2016. Ele foi membro do comitê de programa do ICSE 2014, coordenador do comitê de programa do SBES 2015, coordenador da Comissão Especial de Engenharia de Software da SBC em 2016 e é editor associado do JBCS desde 2013 e do JSERD desde 2016. Tem experiência na área de Ciência da Computação, com ênfase em Engenharia de Software. Seus principais campos de atuação são Gerência de Configuração, Evolução de Software, Arquitetura de Software e Proveniência. Mais informações.

Capstone - Trajetórias Semânticas: Modelos e Análises

José Antonio F. de Macêdo (Departamento de Computação, Universidade Federal do Ceará)

A proliferação de dispositivos móveis e sensores aliada ao avanço tecnológico das redes de comunicação sem fio, permitiu gerar um grande volume de informações sobre o deslocamento de objetos móveis. Tal riqueza de informação oferece novas oportunidades para a criação de aplicações analíticas com foco em mobilidade. A exemplo de tais aplicações, podemos ressaltar: recomendação de roteiros de viagens, controladores de linhas verdes de trânsito, preditor de trajetórias, detector de padrões de mobilidade, simulador de propagação de doenças, etc. A área de pesquisa relacionada com a modelagem e análise de dados de trajetórias de objetos móveis produziu diversos resultados importantes considerando, principalmente, dados espaço-temporais. No entanto, mais recentemente, o enriquecimento semântico dos dados de movimento se mostrou uma importante área de pesquisa, pois através do uso da semântica foi possível a identificação de objetos, fenômenos, ações e conceitos que são fundamentais para explicar e compreender o comportamento dos objetos móveis. Neste contexto, esta palestra apresentará em detalhe os modelos de trajetórias semânticas e os tipos de análises sobre tais modelos. Além disso, apresentaremos as oportunidades e desafios nesta área de pesquisa, utilizando demonstrações reais de aplicação.

Bio: Jose Macedo é professor associado do Departamento de Computação da Universidade Federal do Ceará. Desde 2009 é pesquisador de produtividade do CNPq. Atualmente exerce o cargo de Coordenador da Pós-Graduação do Programa de Mestrado e Doutorado em Ciência da Computação da UFC. José Macedo concluiu mestrado e doutorado pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Realizou doutorado sanduiche na École Nationale Supérieure des Télécommunications Bretagne na França. No período de 2006-2009 realizou estágio pós-doutoral na École Polytechnique Fédéral de Lausanne (Suíça). Recebeu prêmios relacionados com seus artigos publicados nas conferências ACM-SIGSPATIAL, SBBB e ECIR. Em 2015, a ACMCommunications publicou uma matéria sobre o resultado de sua pesquisa em recomendação de viagens. O foco de sua pesquisa é processamento de dados de objetos móveis em larga escala. Possui ainda um especial interesse no desenvolvimento de algoritmos de mineração de dados e aprendizagem de máquinas para processamento de grandes volumes de dados (Big Data). Publicou mais de 80 artigos em conferências e revistas qualificadas.

Trabalhos aceitos

Análise de erros de anotação de genes exclusivos

Priscilla Koch Wagner, Guilherme Duarte Mattos, Luciano Antonio Digiampietri

Implementing W2Share: Supporting Reproducibility and Quality Assessment in eScience

Lucas A. M. C. Carvalho, Joana E. Gonzales Malaverri, Claudia Bauzer Medeiros

CrossFlow: Interpolando Dados Pluviométricos com Apoio de Validação Cruzada em Workflows Científicos

Ulisses Roque Tomaz, Ednaldo O. Santos, Gustavo B. Lyra, Sergio Manuel Serra da Cruz

Evaluation of Nature Inspired Metaheuristics for Search and Reconnaissance Operations by Rotary-wing Aircrafts

Andre M. Yokoyama, Antonio R. Mury, Mariza Ferro, Bruno Schulze

An Architecture for Animal Sound Identification based on Multiple Feature Extraction and Classification Algorithms

Leandro Tacioli, Luís Felipe Toledo, Cláudia Bauzer Medeiros

Uma Estratégia para Versionamento dos Dados de Workflows Científicos Executados em Nuvem

Fabício Nogueira, Kary Ocaña, Vítor Silva, Vanessa Braganholo, Daniel de Oliveira

Uma Proposta de Implementação de Álgebra de Workflows em Apache Spark no Apoio a Processos de Análise de Dados

João Ferreira, Daniel Gaspar, Bernardo Monteiro, Ana Beatriz Cruz, Fábio Porto, Eduardo Ogasawara

BioSciCumulus: um portal para análise de dados de proveniência em workflows de biologia computacional

Débora Pina, Vinícius Campos, Vítor Silva, Kary Ocaña, Daniel de Oliveira, Marta Mattoso

Predição de Falhas em Workflows Científicos em Nuvens baseada em Aprendizado de Máquina

Daniel Pinheiro da Silva Junior, Aline Paes, Daniel de Oliveira

SciPhyloMiner: um Workflow para Mineração de Dados Filogenômicos de Protozários

Thaylon Guedes, Kary Ocaña, Daniel de Oliveira

Método computacional baseado em workflow para contabilização da frequência de repetição de k-mers

Fabício Vilasbôas, Carla Osthoff, Kary Ocaña, Oswaldo Trelles, Ana Tereza Vasconcelos

Análise de erros de anotação de genes exclusivos

Priscilla Koch Wagner¹, Guilherme Duarte Mattos¹, Luciano Antonio Digiampietri¹

¹Escola de Artes, Ciências e Humanidades – Universidade de São Paulo (USP)
Caixa Postal 02125 – São Paulo – SP – Brazil

Abstract. *This paper presents an approach to identify annotation errors in exclusive genes. This study shows computational tools that can be used by researchers and professionals in this field because of its generic purposes and provide more reliability in a phylogenetic analysis aiming exclusive genes and their origins. The developed tools were used in a study case with genes from Xanthomonas species.*

Resumo. *Este artigo apresenta uma abordagem para a identificação de erros de anotação em genes exclusivos. O estudo apresenta ferramentas computacionais que possuem caráter genérico e podem ser utilizadas por pesquisadores e profissionais da área, bem como possibilitam uma maior confiabilidade em uma análise filogenética visando a identificação de genes exclusivos e suas origens. É apresentado um estudo de caso com genes de espécies de bactérias do gênero Xanthomonas, em que as ferramentas foram aplicadas.*

1. Introdução

Para o estudo da relação evolutiva entre os organismos, denominado filogenia, existem diversas ferramentas computacionais que auxiliam nas etapas de um processo de análise filogenética [Miyamoto and Cracraft 1991]. Entre essas etapas estão: a anotação, comparação e alinhamento de sequências de nucleotídeos [Setubal and Meidanis 1997].

Uma das motivações de se realizar uma análise filogenética é identificar a origem de um determinado gene ou organismo [Matioli 2001]. As peculiaridades dos seres vivos podem ser dadas por genes exclusivos, que são identificados através da análise filogenética de grupos de espécies (ou sub-espécies) próximas geneticamente. Por meio do estudo filogenético é possível conhecer a origem de um gene exclusivo de dado genoma, trazendo avanço sobre os conhecimentos acerca do processo evolutivo da espécie em que esse gene exclusivo se apresenta. Esse estudo pode também trazer mais conhecimentos sobre comportamentos e características da espécie sob análise, visto que esse gene pode ser determinante para um fenótipo também exclusivo.

Durante uma análise filogenética, é necessário que haja uma verificação da anotação dos genes a fim de certificar-se se os genes sendo estudados tiveram o processo de anotação de sua função genética realizado de maneira correta e, caso o objetivo seja identificar genes exclusivos, esse processo é ainda mais delicado pois erros podem se propagar durante a análise e afetar diretamente os resultados.

O presente artigo visa a apresentar uma estratégia para identificar os erros de anotação identificados em genes considerados exclusivos a um genoma. O artigo também busca destacar uma parte do trabalho que ainda será apresentado a comunidade científica como uma nova abordagem para identificar a provável origem de genes exclusivos.

2. Solução Proposta

Com as motivações citadas anteriormente, a solução proposta neste artigo consiste em aplicar uma abordagem para identificação de prováveis erros de anotação em genes potencialmente exclusivos, criando-se ferramentas parametrizáveis ao longo do processo.

A solução proposta para a identificação dos genes realmente exclusivos tem suas principais atividades realizadas por duas ferramentas, sendo que ambas possuem resultados complementares e fazem parte de processos distintos dentro dessa abordagem, conforme apresentado na Figura 1. Tal abordagem pode contemplar estudos para identificação de genes exclusivos de maneira genérica bem como auxiliar na identificação de erros de anotação (exclusivos ou não).

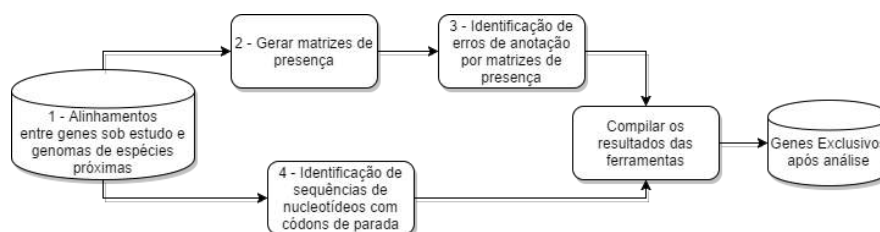


Figura 1. Abordagem adotada para a identificação de genes exclusivos

Para as etapas prévias da análise filogenética, foram utilizadas ferramentas já existentes desenvolvidas pelo grupo de pesquisa em que o trabalho se insere [Pereira et al. 2014, Pereira 2014] (número 2 na Figura 1) para geração de matrizes de presença; bem como o uso da ferramenta BLAST [Altschul et al. 1990] (número 1 na Figura 1) para realizar o alinhamentos dos genes escolhidos para análise com os genomas do *National Center for Biotechnology Information gene and genome database* (NCBI)¹

As ferramentas desenvolvidas neste projeto referem-se aos números 3 e 4 da Figura 1. A primeira ferramenta (número 3 da Figura 1) possui o objetivo de analisar os potenciais genes exclusivos e identificar possíveis erros de anotação tendo como entrada matrizes geradas a partir de comparações entre genes anotados com os genomas filogeneticamente próximos. Além de identificar potenciais erros de anotação, a ferramenta também tem o objetivo de segregar os dados para identificar se o erro de anotação é relativo a outras sequências dentro do próprio genoma ou encontrados em outros genomas. A segunda ferramenta (número 4 da Figura 1) complementa os resultados da primeira para a análise adotada, submete os dados a uma dupla checagem, identificando quais das sequências de nucleotídeos poderiam sintetizar uma proteína, ou seja, se efetivamente a sequência encontrada pode corresponder a um gene.

3. Experimentos e Resultados

As ferramentas desenvolvidas possuem cunho genérico, portanto se aplicam para quaisquer genes. Entretanto, com intuito de testar sua aplicabilidade, essas ferramentas foram aplicadas num estudo de caso com genomas de bactérias do gênero *Xanthomonas*, que são bactérias patogênicas, visto que seus genes têm sido amplamente estudados e possuem grande importância econômica na agricultura [Zhang et al. 2015]. Foram selecionados 15 genomas de *Xanthomonas*, apresentados na Tabela 1.

¹<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/>

Tabela 1. Genomas do gênero *Xanthomonas* utilizados

Índice	Nome da espécie	Índice	Nome da espécie
1	<i>Xanthomonas oryzae</i> pv. <i>oryzae</i> MAFF 311018	9	<i>Xanthomonas axonopodis</i> pv. <i>citri</i> str. 306
2	<i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>campestris</i> str. ATCC 33913	10	<i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>raphani</i> 756C
3	<i>Xanthomonas axonopodis</i> Xac29-1	11	<i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>campestris</i> str. B100
4	<i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>campestris</i> str. 8004	12	<i>Xanthomonas oryzae</i> pv. <i>oryzae</i> KACC 10331
5	<i>Xanthomonas fuscans</i> subsp. <i>fuscans</i> str. 4834-R	13	<i>Xanthomonas oryzae</i> pv. <i>oryzicola</i> BLS256
6	<i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>vesicatoria</i> str. 85-10	14	<i>Xanthomonas oryzae</i> pv. <i>oryzae</i> PXO99A
7	<i>Xanthomonas axonopodis</i> pv. <i>citrumelo</i> F1	15	<i>Xanthomonas albilineans</i> GPE PC73
8	<i>Xanthomonas citri</i> subsp. <i>citri</i> Aw12879		

Os genes dos 15 genomas foram comparados uns com os outros por meio do alinhamento de sequências e com base em limiares de identidade e cobertura foram geradas matrizes de presença dos genes em cada um dos genomas. Com base neste resultado, foram criadas famílias de genes homólogos. Foram criadas duas matrizes, uma contendo os resultados dos genes contra os genes e outra contendo os resultados dos genes contra os genomas dos 15 organismos. A partir das matrizes, foi aplicada a primeira ferramenta, que identificou como resultado que 28.996 genes (entre os 65.120 genes desses genomas) estavam envolvidos em erros de anotação intergenoma. Ao analisar os erros dentro do próprio genoma, foram destacados 5.142 genes com essa inconsistência. Ao comparar os genes que eram considerados exclusivos antes da análise da anotação e os genes que permaneceram sendo considerados como exclusivos após a análise, temos a distribuição por genomas (Figura 2 (a)). Nessa distribuição, destacam-se as espécies *Xanthomonas albilineans* GPE PC73 (índice 15 na Tabela 1) e *Xanthomonas axonopodis* pv. *citri* str. 306 (índice 9 na Tabela 1) que preservaram quase todos os genes como exclusivos.

Com esses resultados, segregou-se os genes com potenciais erros de anotação para a continuidade da análise. Com o arquivo gerado pelo BLAST (contendo o alinhamento desses genes contra os 15 genomas), aplicou-se a segunda ferramenta a fim de se obter as sequências de nucleotídeos que foram utilizadas na segunda matriz de entrada da primeira ferramenta (neste caso, focando-se apenas nos erros que, a princípio, eram considerados genes exclusivos). O objetivo é verificar se essas sequências podem efetivamente corresponder a genes corroborando com o resultado anterior (da primeira ferramenta) que indica que há um potencial erro de anotação.

Como parametrização da ferramenta foi utilizada uma taxa de identidade de 96%, bem como uma cobertura mínima entre o alinhamento do gene do próprio genoma e o melhor alinhamento do gene com outro genoma também de 96%. Estas porcentagens foram utilizadas porque, para este conjunto de genomas, maximizam a transitividade das relações de homologia. Com a aplicação da segunda ferramenta sobre os dados, foram obtidos 243 sequências de nucleotídeos com a presença de um códon de parada dentro dos seis quadros de leitura (ou seja, elas não correspondem a genes).

Na Figura 2 (b) são identificadas as quantidades de sequências de nucleotídeos (que alinharam com os genes anotados) e que possuem um códon de parada nos seis quadros de leitura, agrupadas por genoma. A Tabela 1 mostra os índices dos genomas que fazem parte do eixo horizontal da Figura 2 (b). Com tais resultados, os genes, que foram alinhados com estas 243 sequências de nucleotídeos, listados como saída da segunda ferramenta podem continuar sendo considerados como genes exclusivos. Como resultado final, foi criada uma lista com os genes identificados como realmente exclusivos após as

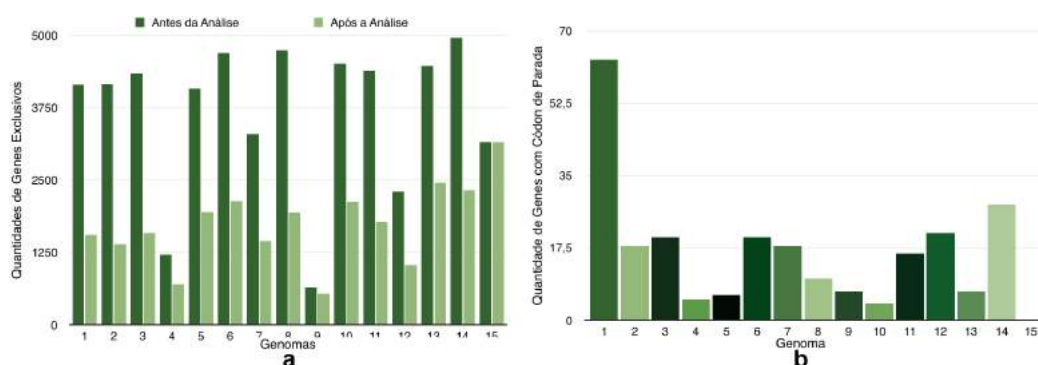


Figura 2. (a) Genes exclusivos antes e após análise de nucleotídeos (b) Distribuição das sequências com códons de parada por genomas

verificações das ferramentas aplicadas (desconsiderando as sequências que tinham características de “genes homólogos” mas que não podem codificar proteínas).

4. Conclusão

O presente artigo apresentou ferramentas computacionais para uma abordagem específica na identificação de genes exclusivos, a fim de trazer maior qualidade aos resultados de uma análise filogenética. As ferramentas possuem cunho genérico e podem ser utilizadas por pesquisadores e profissionais da área no processo de análise filogenética.

Como trabalhos futuros, planeja-se realizar: a investigação da intersecção dos genes com erros de anotação com os genes que se confirmaram exclusivos pela segunda ferramenta; a integração das ferramentas citadas; o desenvolvimento de uma interface amigável para o usuário; o desenvolvimento de ferramentas complementares a fim de se identificar a origem biológica do gene exclusivo filtrado pelas ferramentas apresentadas.

Referências

- Altschul, S. F., Gish, W., Miller, W., Myers, E. W., and Lipman, D. J. (1990). Basic local alignment search tool. *Journal of Molecular Biology*, 215(3):403–410.
- Matioli, S. R. (2001). *Biologia Molecular e Evolução*. Editora Holos, Ribeirão Preto.
- Miyamoto, M. and Cracraft, J. (1991). *Phylogenetic Analysis of DNA Sequences*. Oxford University Press.
- Pereira, V. M. Y. (2014). Montagem e análise de genomas a partir de metagenomas. Master’s thesis, Universidade de São Paulo - Escola de Artes, Ciências e Humanidades.
- Pereira, V. M. Y., Costa, C. I., and Digiampietri, L. A. (2014). Uma ferramenta baseada em algoritmos genéticos para a ordenação de montagens parciais de genomas. In *VIII Brazilian e-Science Workshop (BRESCI2014)*.
- Setubal, J. C. and Meidanis, J. (1997). *Introduction to Computational Molecular Biology*. PWS Publishing Company, Boston, EUA.
- Zhang, Y., Jalan, N., Zhou, X., Goss, E., Jones, J. B., Setubal, J. C., Deng, X., , and Wang, N. (2015). Positive selection is the main driving force for evolution of citrus canker-causing xanthomonas. In *ISME Journal*.

Implementing W2Share: Supporting Reproducibility and Quality Assessment in eScience

Lucas A. M. C. Carvalho¹, Joana E. Gonzales Malaverri¹, Claudia Bauzer Medeiros¹

¹Institute of Computing – University of Campinas (Unicamp)
Campinas – SP – Brazil

{lucas.carvalho, jmalav09, cmbm}@ic.unicamp.br

Abstract. *An open problem in scientific community is that of supporting reproducibility and quality assessment of scientific experiments. Solutions need to be able to help scientists to reproduce experimental procedures in a reliable manner and, at the same time, to provide mechanisms for documenting the experiments to enhance integrity and transparency. Moreover, solutions need to incorporate features that allow the assessment of procedures, data used and results of those experiments. In this context, we designed W2Share, a framework to meet these requirements. This paper introduces our first implementation of W2Share, which moreover guides scientists in step-by-step process to ensure reproducibility based on a script-to-workflow conversion strategy. W2Share also incorporates features that allow annotating experiments with quality information. We validate our prototype using a real-world scenario in Bioinformatics.*

1. Introduction

Reproducibility denotes the ability for a third party to reproduce results of an experiment using a possibly different setting, aiming at confirming or disputing the original experimenter's claims [Missier et al. 2016]. As we know, scientific transparency and integrity rely on the ability to reproduce experiments, e.g., for independent validation, adoption of procedures or building new solutions to move forward in a particular research domain.

Scripts and Scientific Workflow Management Systems (SWfMSs) are common approaches that have been used to allow the automation of processes and data analysis in experiments. Scripts are widely adopted in many disciplines to create pipelines in experiments, e.g., to clean and analyze a large amount of data. However, they are hard to understand, adapt and reuse. For this reason, several solutions have been proposed to help experiment reproducibility for script-based environments such as Re-proZip [Chirigati et al. 2016], YesWorkflow [McPhillips et al. 2015] and noWorkflow [Murta et al. 2014]. Though those solutions help scientists to capture experimental details, they neither allow to fully document the experiment and nor add new additional information such as support quality assessment of the experiments. SWfMSs [Liu et al. 2015], on the other hand, help reproducibility by supporting scientists in the design and execution of their experiments, which are specified and run as interconnected (reusable) components. However, there is a gap between the script and the workflow communities. Moreover, workflows alone are not enough to ensure reproducibility.

Taking this overall scenario into account, we designed W2Share, a framework for retrieval and conversion of script-based experiments into executable workflows [Carvalho et al. 2016b]. The script-to-workflow conversion is based on a methodology

proposed by us [Carvalho et al. 2016a]. Reproducibility is enabled, via this methodology, by the adoption of Workflow Research Objects (WRO) [Belhajjame et al. 2015]. The WRO model allows the aggregation of resources, explicitly specifying the relationship between these resources and workflow using a suite of ontologies. A WRO encompasses information such as datasets and provenance traces related to the execution of workflows. In W2Share, a WRO also encapsulates the scripts that were transformed into workflows and quality annotations. Via W2Share, third-party users are thus able to understand the data analysis encoded by the original script and obtain the resources required to run or reuse the associated workflow and data.

This paper presents the first implementation of W2Share that implements script conversion and quality assessment. The prototype is available at <http://w3id.org/w2share>. It incorporates our work on Quality Flow, [Sousa 2015, Sousa et al. 2014] – a workflow-based computational framework for data quality assessment of scientific experiments. Our solution can be used in different situations such as: (i) publishing procedures and datasets related to an experiment; (ii) training members in a research group to gain skills in computational scientific procedures; and (iii) dynamically assessing the quality of experiments. This prototype was validated in a bioinformatics experiment. As discussed in the paper, through W2Share, we semi-automatically transformed a suite of R scripts into an executable workflow, which was annotated with quality information. Then, still under W2Share, several runs of this workflow were executed, each of which with potentially distinct quality annotations. The entire set (script, workflow, provenance traces, quality information) is encapsulated in WROs, that are stored in W2Share repository for WRO.

2. W2Share Instantiation

W2Share is an abstract generic framework to support executing and documenting experiments to enable their reuse and reproduction. As such, it can be instantiated in many different ways¹.

2.1. Overview

This section presents a specific instantiation, which moreover supports our methodology to guide scientists in the process of transforming scripts into workflows and their executions, with subsequent encapsulation into WROs. Figure 1 gives a high level overview of this instantiation, which is composed of three main modules: (i) **Script Converter** – responsible for guiding the scientist through the conversion of scripts into workflows; (ii) **WRO Manager** – responsible for creating, updating and exporting WRO bundles; and (iii) **Quality Flow** – responsible for annotating the workflow and provenance data with quality information, and creating quality according to users' needs.

These modules store and retrieve objects from the Knowledge Base (KB) using Semantic Web technology (in particular SPARQL queries). The KB encapsulates the WRO repository which includes scripts, workflows, provenance data, annotations, and input and output data; and the Quality Flow repository, which is responsible for storing quality dimensions, its metrics and creators. The KB is implemented using Virtuoso Open Source Edition².

¹For brevity sake, we do not present the overall framework. For details see [Carvalho et al. 2016b].

²<https://github.com/openlink/virtuoso-opensource>

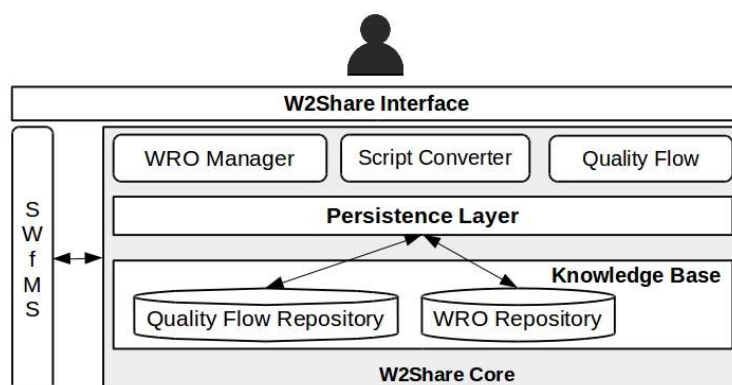


Figure 1. W2Share Software Architecture - workflow management is performed by the SWfMS.

The implementation uses a Model-View-Controller (MVC) architecture implemented using the PHP language and the Symfony Framework³, a well established framework for web development. Among some of the tools and ontologies reused and/or extended in our software architecture are: YesWorkflow [McPhillips et al. 2015], Quality Flow [Sousa 2015, Sousa et al. 2014] and the WRO model ontologies [Belhajjame et al. 2015]. We also created an ontology for annotating data quality information (see section 2.3). These modules take advantage of the SWfMS to manage, design and execute workflows.

2.2. Script Converter

Script conversion works as follows. First, the scientist annotates the script with YesWorkflow tags (e.g., *@begin* and *@end* to delimiter a given task). This annotated script is fed into the YesWorkflow tool suite, integrated by us into W2Share. This suite produces a set of Datalog facts, and a visual rendering of the script as a workflow. Next, we developed code to process these facts to produce the executable workflow that corresponds to that visual rendering. From then on, this workflow can be executed, updated and tested using the underlying SWfMS. Our present code only allows creating workflows that can be executed in the Taverna system [Wolstencroft et al. 2013]. We chose Taverna due to its popularity and availability of tools to ease the process of creating an executable workflow, exporting provenance data and integrating with the WRO.

2.3. Quality Flow

In [Carvalho et al. 2016a], we state that there is a need to check the quality of the actual script-to-workflow conversion, and to assess the quality of the resulting workflow. In our solution, we adopt Quality Flow [Sousa et al. 2014] to allow scientists to annotate the elements that make up the workflow with quality information. By doing this, scientists are able to compute quality metrics related to data, processes, and overall execution, and request evaluation of specific quality metrics based on combining quality dimensions with provenance information generated at each run of the workflow.

Quality Flow is a software tool that allows domain experts to define their own quality dimensions and metrics for workflows and their components. Thus, a given work-

³<http://symfony.org>

flow (and even a given execution) may have multiple quality assessments, depending on each expert's point of view. Data quality metrics may be computed as simple equations on numeric values or more complex as a set of inference rules. On demand, these metrics are used to compute a dimension of quality, without need to modify the workflow structure. Quality dimensions and metrics can be defined at workflow creation or, little by little, as distinct scientists interact with the workflow. Such metrics define how to calculate quantitative quality dimensions like accuracy and efficiency or how to relate and summarize different qualitative quality dimensions like reliability, utility and so on. W2Share embeds these features from Quality Flow⁴ responsible for managing, extracting and processing quality information. W2Share links the quality-annotated workflow with its runs and (provenance) traces. Distinct scientists can assess quality differently, defining distinct quality metrics for a quality dimension for a given piece of data or process. As a consequence, the result of a single experimental run can be assessed multiple ways. These distinct assessments are embedded into a WRO (see Section 2.4) to be published.

We created an ontology⁵ to represent the quality information generated, thus allowing the adoption of semantic web technology integrated with the WRO ontologies and supporting the construction of inference rules to calculate the data quality metrics. Basically, the main entities of the ontology are: Quality Dimension, Quality Metrics and Quality Annotation. Quality Dimension describes quality properties, such as freshness or understandability. Quality Metrics defines functions to compute a specific quality dimension. Quality Annotation associates a quality dimension and quality metrics with a workflow and/or elements of the workflow on request.

2.4. WRO Manager

This module implements the last step in the methodology, aggregating all resources used or produced in an experiment and their quality annotations into a reproducible and reusable WRO bundle. The WRO management capabilities supported by W2Share include: (a) creating a WRO bundle; (b) exploring a WRO bundle created or uploaded into the system; (c) annotating resources; and (d) exporting a WRO bundle for publishing on other repositories or for sharing it directly with other scientists. We adopted the RO Manager tool⁶ to create the WRO bundle files.

3. Case Study: DNA Methylation Microarray Analysis

Overview of the experiment Epigenome-Wide Association Studies (EWAS) examine the epigenetic status of many *loci* (a set of positions on a chromosome) for a set of individuals and assess whether any of these *loci* is associated with the phenotype of interest. To evaluate the feasibility of our instantiation, we implemented an EWAS experiment in W2Share. This experiment [Souza et al. 2014] was developed by the Biostatistics and Computational Biology Laboratory (BCBLab)⁷ at Unicamp. It aimed at investigating how epigenetic marks change between two different tissues, prefrontal cortex and white blood cells, by assessing the DNA methylation profiles of control patients from a publicly available data set. The results were obtained comparing the profiles of these two tissues. The

⁴Though, we used only some Quality Flow's features, we maintained the same name in the text.

⁵<http://w3id.org/w2share/ontologies/quality-flow.owl>

⁶<https://github.com/wf4ever/ro-manager>

⁷<http://bcblab.org/>

steps involved in a typical differential DNA methylation analysis pipeline include: quality control, filtering, data exploration, normalization and statistical testing for identifying differentially methylated regions (DMR).

This experiment was implemented via a script (`GSE37579_analysis`) in the R language. The script uses as input data: (i) the Gene Expression Omnibus (GEO) accession number `GSE37579`⁸; (ii) symbol names of genes of interest; and (iii) names of the sample groups (tissue names) used to filter the public dataset. Data outputs at each run are files containing high-resolution groups graphic charts for manual inspection and files containing tables of the DMRs identified when compared the sample groups.

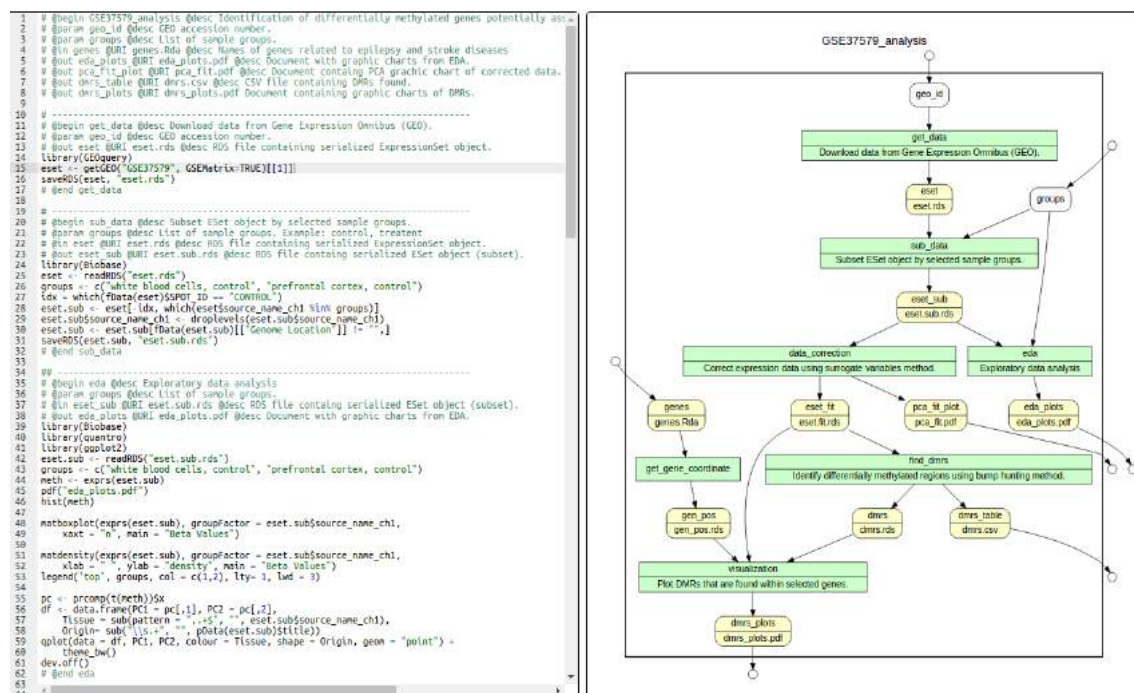


Figure 2. W2Share Editor for converting script into workflow.

Generating the executable workflow We first annotated script `GSE37579_analysis` using W2Share (see section 2.2). Figure 2 illustrates the annotated script (on the left side) and the abstract workflow generated (on the right side). Lines 11 to 17 from the script show tag `@begin` identifying `get_data` activity, `@desc` describing the activity as “Download data from Gene Expression Omnibus (GEO)”, `@param` and `@desc` describing the parameter `geo_id` as “GEO accession number.” and `@out`, `@uri` and `@desc` specifying the file `eset.rds` to the output port `eset` and describing this port as “the eset RDS file containing serialized ExpressionSet object”. This first activity of the script is represented in the abstract workflow as the first green box, where the first row shows `get_data` and the second one, the description of the activity obtained from the `@desc` tag.

W2Share next automatically creates the corresponding executable workflow⁹. In the current version of W2Share, we run the workflow using the Taverna workflow system

⁸<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/geo/query/acc.cgi?acc=GSE37579>

⁹Our implementation generates Taverna workflows

– and thus, we capture all provenance information provided by Taverna.

Annotating with Quality information At any point, different scientists can annotate the workflow and components with quality information. Figure 3 shows a form to annotate the process *find_dmrs* with quality information.

As an example of how this form works, consider that at some point, a scientist *Lucas* defined the *accuracy* quality dimension. Scientist *Joana* retrieves from W2Share the information about GSE37579_analysis. *Joana*, then, annotates the process *find_dmrs* with the *accuracy* dimension value 0.85. The same scientist defines that the metrics to compute *accuracy* are (*correctly_identified_methylate_regions / total_selecting_samples*). At present, quality dimensions and metrics are stored as textual descriptions. This allows any kind of dimensions and metrics to be defined using W2Share. However, our approach still requires of manual specification of quality information. To overcome such a limitation, as future work, we intend to design a semi-automatic approach to define and assess the quality metrics associated with a dimension.

Actions	Dimension	Value	Author	Creation Date
	accuracy	0.8	Lucas	12:54:26 05-02-2017

Actions	Metric	Description	Result
	correctly_identified_methylate_regions/total_selecting_samples	quality metric to compute the accuracy for find_dmrs process	0.8

Figure 3. Quality Annotation form on W2Share.

Generating the WRO Finally, the scientist generates the WRO, which is stored in the corresponding W2Share repository. This output is available at <http://w3id.org/w2share/usecase-bresci2017>.

4. Related Work

There is a variety of work addressing reproducibility of script-based experiments. For instance, ReproZip [Chirigati et al. 2016] helps users to capture all the necessary components, environment variables and library dependencies used to execute data analysis, bundling them in a single, distributable package. However, unlike W2Share, ReproZip does not have a web interface to allow the exploration and annotation of the resources included in the package. Our solution provides a friendly web user interface to explore WRO bundles. noWorkflow [Murta et al. 2014] captures the execution provenance of Python scripts to support reproducibility. Our solution is not limited to a specific script language and we use the SWfMS to capture the provenance data related to the experiment execution. Furthermore, ReproZip and noWorkflow lack features to allow scientists to understand main script components to learn about the experiment. YesWorkflow

[McPhillips et al. 2015] is a tool that allow scientists to annotate their scripts to generate a workflow-like graphic view of the data analysis carried out by the script. In our work, we extend YesWorkflow features to allow transforming scripts components into executable workflow elements, storing the scripts and the abstract workflows into a WRO for reproducibility.

We use WRO as a component to package and publish the information of the experiment on W2Share. myExperiment [De Roure et al. 2007] and ROHub [Palma et al. 2014] are public web repositories that store Research Objects. ROHub is a repository for general-purpose Research Objects, whereas myExperiment stores WROs. Both repositories lack features such as annotation of quality information, available in W2Share, and none of them have a focus on exploring the provenance data of executions. Our solution is not limited to providing a repository of WROs, but also a system able to manage and enrich the WROs with quality information, activity descriptions, among others. The quality assessment facilities in W2Share are based on Quality Flow [Sousa et al. 2014]. We adapted Quality Flow to semantically represent its data and to work in an integrated manner with the modules of W2Share.

5. Conclusion and Future work

This paper presented our implementation efforts to instantiate the W2Share framework, which supports scientists in transforming their scripts into executable workflows, and assessing the quality of workflow runs. Our instantiation is enhanced with Quality Flow's features to annotate the workflows, the processes and the output data with quality information. This allows users to assess the quality of an experiment and create WROs extended with quality information to be consumed by other scientists. To the best of our knowledge, this is the first attempt to fully integrate use-tailored dynamic quality assessment to a reproducibility environment. Our implementation strived to reuse software tools, standards and ontologies developed by the scientific community. As such, the incorporation of quality assessment features is one of our major contributions of this work. Nevertheless, much need to be done to meet full support to reproducibility and quality management. One possible direction is to ensure support to data citation standards. Full reproducibility may moreover encompass preserving the original execution environment (e.g., variables and software configuration).

Automatic comparison of the quality of the experiment results based on the original script and the workflow is also left as future work. Finally, we desire to explore Common Workflow Language (CWL)¹⁰ to create executable workflows to use a standard that works across multiple SWfMS.

Acknowledgements

Work partially financed by FAPESP (2014/23861-4), CAPES (1658841), FAPESP CCES (2013/08293-7) and CNPq/INCT in Web Science (557128/2009-9). We thank professor Benilton Carvalho and Welliton Souza from the BCBLab at Unicamp for their valuable support to construct and validate the case study.

¹⁰<http://www.commonwl.org/>

References

- Belhajjame, K., Zhao, J., Garijo, D., Gamble, M., Hettne, K., et al. (2015). Using a suite of ontologies for preserving workflow-centric research objects. *Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web*, 32:16–42.
- Carvalho, L. A. M. C., Belhajjame, K., and Medeiros, C. B. (2016a). Converting scripts into reproducible workflow research objects. In *Proc. of the IEEE 12th Int. Conf. on eScience, October 23-26*, pages 71–80, Baltimore, MD, USA. IEEE.
- Carvalho, L. A. M. C., Silveira, R. L., Pereira, C. S., Skaf, M. S., and Medeiros, C. B. (2016b). Provenance-based retrieval: Fostering reuse and reproducibility across scientific disciplines. In *Proc. of the 6th IPAW, June 7-8, 2016*, pages 183–186. Springer.
- Chirigati, F., Rampin, R., Shasha, D. E., and Freire, J. (2016). Rezip: Computational reproducibility with ease. In *SIGMOD Conference*, pages 2085–2088. ACM.
- De Roure, D., Goble, C., and Stevens, R. (2007). Designing the myexperiment virtual research environment for the social sharing of workflows. In *IEEE Int. Conf. on e-Science and Grid Computing*, pages 603–610. IEEE.
- Liu, J., Pacitti, E., Valduriez, P., and Mattoso, M. (2015). A survey of data-intensive scientific workflow management. *Journal of Grid Computing*, 13(4):457–493.
- McPhillips, T., Song, T., Kolisnik, T., Aulenbach, S., Belhajjame, K., et al. (2015). Yesworkflow: A user-oriented, language-independent tool for recovering workflow information from scripts. *Int. Journal of Digital Curation*, 10(1):298–313.
- Missier, P., Woodman, S., Hiden, H., and Watson, P. (2016). Provenance and data differencing for workflow reproducibility analysis. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, 28(4):995–1015.
- Murta, L., Braganholo, V., Chirigati, F., Koop, D., and Freire, J. (2014). noworkflow: Capturing and analyzing provenance of scripts. pages 71–83.
- Palma, R., Hołubowicz, P., Corcho, O., Gómez-Pérez, J. M., and Mazurek, C. (2014). Rohub—a digital library of research objects supporting scientists towards reproducible science. In *Semantic Web Evaluation Challenge*, pages 77–82. Springer.
- Sousa, R. B. (2015). Quality flow: a collaborative quality-aware platform for experiments in escience. Master’s thesis, Institute of Computing - University of Campinas.
- Sousa, R. B., Cugler, D. C., Malaverri, J. E. G., and Medeiros, C. B. (2014). A provenance-based approach to manage long term preservation of scientific data. In *2014 IEEE 30th Int. Conf. on Data Eng. Workshops (ICDEW)*, pages 162–133. IEEE.
- Souza, W., Carvalho, B., Dogini, D., and Lopes-Cendes, I. (2014). Identification of differentially methylated genes potentially associated with neurological diseases. In *ASHG 64th Annual Meeting, October 18-22, 2014*. American Society of Human Genetics.
- Wolstencroft, K., Haines, R., Fellows, D., Williams, A., Withers, D., et al. (2013). The taverna workflow suite: designing and executing workflows of web services on the desktop, web or in the cloud. *Nucleic Acids Research*, 41(W1):W557–W561.

CrossFlow: Interpolando Dados Pluviométricos com Apoio de Validação Cruzada em Workflows Científicos

**Ulisses Roque Tomaz¹, Ednaldo O. Santos³, Gustavo B. Lyra³,
Sergio Manuel Serra da Cruz^{1,2}**

¹ Programa de Pós-Graduação em Matemática Computacional - PPGMMC/UFRRJ

² Programa de Educação Tutorial - PET-SI/UFRRJ

³ Departamento Ciências Ambientais / Instituto de Florestas - UFRRJ

ulisses.rtomaz@ufrrj.br, serra@pet-si.ufrrj.br

Resumo. *Os estudos de eventos atmosféricos extremos são importantes para a sociedade em geral. A chuva, tendo a altura pluviométrica como principal variável, insere-se neste contexto. Os dados pluviométricos brutos muitas vezes apresentam-se como longas séries que contém erros e falhas. Essas condições representam um desafio para a análise de padrões e previsão de eventos. Esse trabalho apresenta uma abordagem inédita baseada em workflows científicos que conjugam quatro métodos de interpolação e de cruzamento de dados para o preenchimento de falhas nas séries históricas. Nossos experimentos utilizaram dezenas de estações no estado do Rio de Janeiro em um período de 75 anos e produziram análises e dados curados de alta qualidade e livres de falhas.*

Abstract. *The study of extreme events and atmospheric patterns is important to society. The rain, having its height as main studied variable, belongs to this context. Rainfall data are delivered as long historical series not errors-free. This work presents a novel approach based on scientific workflows, cross validation and the usage of four data interpolation methods for the gap filling in the historical series. Our experiments used dozens of stations in the state of Rio de Janeiro over a period of 75 years producing high quality cured data free of gaps.*

1. Introdução

A compreensão das mudanças climáticas é um dos principais temas de pesquisas da atualidade. Os modelos climáticos se tornaram uma das principais ferramentas para avaliar essas mudanças. No entanto, obter e processar grandes volumes de dados meteorológicos de qualidade e livres de falhas representa um grande desafio científico e tecnológico. Estudos de padrões e probabilidades de ocorrência de eventos meteorológicos extremos (inundações e secas) sempre foram importantes para a humanidade. Porém, em decorrência de mudanças climáticas ocorridas nas últimas décadas, a frequência desses eventos tem aumentado (MARENGO, 2009). Neste cenário, a chuva, dentre os principais fenômenos meteorológicos, é de maior interesse em estudos climáticos, pois constitui uma das etapas do ciclo hidrológico que ao longo dos anos sofre alterações.

Estudos nas áreas Ambientais, Meteorologia e Hidrologia requerem dados heterogêneos e livres de falhas (dados ausentes e/ou errôneos). Essas características, por si só, incrementam a complexidade da análise dos dados que, demandam grande esforço computacional para produzir resultados confiáveis e em tempo hábil, que permitem que os

cientistas compreendam os fenômenos ou mesmo que a sociedade se previna ou mitigue as consequências de eventos extremos. Dessa forma, coletar, integrar e analisar dados meteorológicos e hidrológicos curados são tarefas que requerem uso intensivo de diversas técnicas computacionais.

Os meteorologistas e hidrólogos trabalham em pequenos grupos e aplicam modelos complexos que utilizam numerosas fontes de dados de natureza heterogênea e distribuída (PLALE, 2011). Em geral, as etapas de trabalho executadas podem ser resumidas na Figura 1: i) coleta de dados; ii) limpeza de dados brutos; iii) assimilação de dados e execução de modelos e iv) análise de dados usando pacotes estatísticos ou sistemas de informação geográfica (ArcGIS, GRASS entre outros).

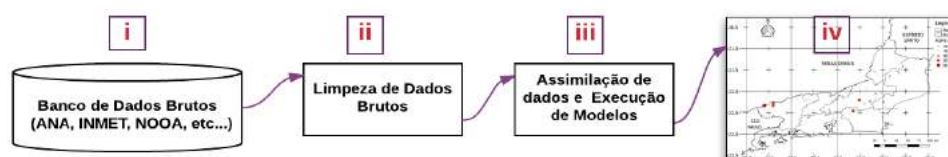


Figura 1 – Representação conceitual das etapas dos estudos em Meteorologia.

Segundo Plale (2011) um dos paradigmas computacionais mais apropriados para este tipo de estudos são os *workflows* científicos. Eles são capazes de modelar experimentos em larga escala, que encadeiam atividades e podem auxiliar tanto na rastreabilidade dos dados e processos quanto na reprodutibilidade dos experimentos e, assim, asseguram a transparência da metodologia adotada pelas equipes de pesquisas.

Portanto, o objetivo deste trabalho é apresentar uma abordagem sistemática e automática de coleta de dados brutos, preenchimento de falhas de dados pluviométricos mensais baseado em múltiplos métodos de interpolação apoiados por *workflows* científicos. A abordagem proposta, diferentemente das tradicionais que utilizam apenas um método de interpolação de dados, aplica concomitantemente quatro métodos de interpolação já consagrados na área da Meteorologia. Além disso, utiliza validação cruzada como critério de avaliação e seleção do melhor método de interpolação para estimar a altura pluviométrica adequada de dezenas de estações.

Esse artigo está organizado, além da Introdução, da seguinte forma: Seção 2 apresenta o referencial teórico; Seção 3 contém a abordagem denominada *CrossFlow*; Seção 4 apresenta as avaliações experimentais; Seção 5 discute os trabalhos relacionados. A Seção 6 apresenta as considerações finais destacando as contribuições e possíveis trabalhos futuros.

2. Referencial Teórico

O controle de qualidade de dados de precipitação não é uma tarefa trivial, no entanto, é fundamental para o sucesso de diversos tipos de estudos ambientais. A análise de consistência dos dados tem como objetivo garantir a qualidade dos dados pluviométricos por meio da identificação, correção de erros e preenchimento automático das falhas das séries de dados (SILVA *et al.*, 2014). Esses dados são essenciais para avaliar a altura pluviométrica, que representa a lâmina de água (em mm), que se formaria sobre o solo como resultado da chuva, caso a superfície fosse impermeável e não ocorresse escoamento ou evaporação.

A distribuição espaço-temporal das chuvas requer a análise de longas séries de dados e de conjuntos de estações pluviométricas próximas para permitir o preenchimento de lacunas nos registros ou substituição de dados observados e considerados errôneos. Assim, devem-se

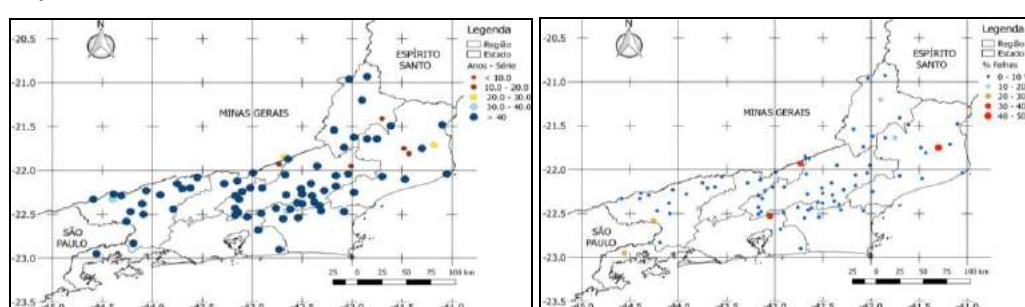
considerar estações situadas em uma mesma bacia hidrográfica ou em regiões vizinhas para a análise de registros pluviométricos (BERTONI & TUCCI, 2001). Adicionalmente, é importante que se obtenham da operadora da rede de estações informações sobre todas as irregularidades encontradas, a fim de melhorar a qualidade das séries de dados. Por fim, é desejável que o meteorologista conheça o regime climático, o sistema de circulação geral e processos geradores de chuvas, orografia, existência de microclimas e demais fatores que possam influenciar na ocorrência das chuvas na região em estudo (ANA, 2012).

Tradicionalmente, a análise de consistência possui duas fases distintas. Na *primeira fase* (análise preliminar) são verificadas as irregularidades na recepção dos dados pelos equipamentos de medição (avaliação dos dados diários e totais mensais, comparando-os com os das estações de apoio). Na *segunda fase* (análise quantitativa) são aplicados métodos de correção e homogeneização de dados pluviométricos.

2.1. Fase 1 - Análises Preliminares

As estações meteorológicas são analisadas, selecionadas e separadas em dois grupos: principais e secundárias. As principais são aquelas cujos registros em questão são obtidos e identificados a partir de características básicas, a saber: localização adequada na bacia para os propósitos do estudo; grandes séries temporais de observação (maior ou igual a 25 anos); poucos períodos de interrupção; presumivelmente operada adequadamente, com pouca ou nenhuma alteração na instalação (BERTONI & TUCCI, 2001; ANA, 2012).

As estações secundárias têm como finalidade verificar a existência de erros de observação ou transcrição nos dados das estações principais. Entretanto, em função dos resultados da análise de consistência, uma estação secundária pode ser levada à condição de principal pela qualidade dos seus registros e das suas condições naturais. Em geral, as estações secundárias devem ser selecionadas tendo como base os seguintes aspectos: maiores coeficientes de correlação (superior ou igual a 0,7); menores distâncias entre as estações (distâncias máximas de 200 km); períodos de dados coincidentes; e altitudes semelhantes entre as estações.



Figuras 2 - Distribuição espacial das 77 estações do estado do RJ considerando a quantidade de anos de observação das séries de dados (mapa à esquerda) e o percentual de falhas de preenchimento das estações (mapa à direita).

Neste trabalho, como resultado das análises preliminares, foram selecionadas 77 estações pluviométricas (principais e secundárias) da rede operada pela Agência Nacional de Águas (ANA) e pertencentes à Região Hidrográfica Atlântico Sudeste, que abrange parte das unidades hidrográficas Litorânea São Paulo/Rio de Janeiro, Paraíba do Sul e extremo sul da região Litorânea Rio de Janeiro/Espírito Santo, as coordenadas geográficas de latitude estão entre $20^{\circ} 93' S$ e $22^{\circ} 95' S$ e longitudes entre $41^{\circ} 85' W$ e $44^{\circ} 59' W$ (Figura 2).

2.2. Fase 2 - Análises Quantitativas

Dentre os métodos de interpolação para preenchimento de falhas de dados pluviométricos consagrados na literatura utilizaram-se neste trabalho: Regressão Linear (RL), Ponderação Regional (PR), Ponderação Regional com Regressão Linear (PRRL) e Inverso do Quadrado da Distância (IQD) (BERTONI & TUCCI, 2001; ANA, 2012). Além disso, neste trabalho usou-se como estratégia de validação cruzada (KOHAVI, 1995) o método *leave-one-out* para avaliar a capacidade de generalização da abordagem proposta. Neste método, utiliza-se uma única amostra para o subconjunto de teste, sendo as demais alocadas para o subconjunto de treinamento.

3. Abordagem Proposta

Nessa seção apresentamos a abordagem proposta, denominada *CrossFlow*. O *CrossFlow* é abordagem apoiada no paradigma dos *workflows* científicos, que podem ser acoplados a um SGWfC e dar suporte as análises preliminares e quantitativas (descritas na Seção 2), além de armazenar dados curados e de proveniência coletados pelo SGWfC. Uma representação abstrata da abordagem é apresentada na Figura 3. Em sua versão atual o *CrossFlow* foi codificado em Python para ser acoplado ao sistema *VisTrails* (CALLAHAN *et al.*, 2006).

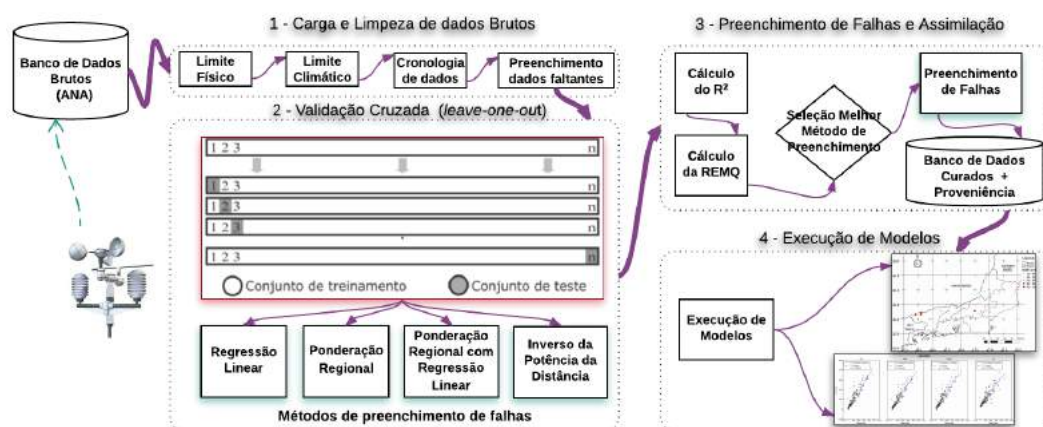


Figura 3 – Representação conceitual da abordagem **CrossFlow**.

O *CrossFlow* é composto por dois tipos de módulos principais: os que processam dados pluviométricos e os que fazem a conexão com as bases de dados. Os módulos de conexão são responsáveis pelo registro dos dados brutos e de proveniência retrospectiva no banco de dados. Nesta abordagem, toda a base de dados se encontra representada em um único banco de dados relacional no MySQL, pois é necessário manter a compatibilidade com os sistemas previamente desenvolvidos, *e.g.* sistemas *Meteoro* (LEMO FILHO *et al.*, 2013) e *MetFlow* (CARDOZO *et al.*, 2016). Além disso é necessário seguir a recomendação PROV da W3C (MOREAU *et al.*, 2014) para o registro da proveniência dos processos de transformação e anotação de dados.

Esta abordagem proposta se instancia como um *workflow* parametrizável que implementa análises preliminares e quantitativas discutidas na Seção 2 deste documento. O *CrossFlow* (Figura 3) é composto por quatro partes principais. Inicialmente ele faz a carga de dados das estações presentes do sistema *HidroWeb* da ANA (HIDROWEB, 2017), aplicam-se a ordenação dos dados, faz limpeza automática das séries, identifica e substitui-se os valores que extrapolam os limites físicos possíveis e efetua o preenchimento dos dados faltantes. Calculam-

se ainda as distâncias euclidianas entre as estações (por exemplo, raio = 30Km) baseado em parâmetros fornecidos pelo meteorologista.

Na segunda parte ocorre a validação cruzada do tipo *leave-one-out*. Nesta etapa, realizam-se os testes das amostras com os quatro métodos de interpolação (RL, PR, PRRL e IQD) para cada estação antes da seleção do método mais efetivo para o preenchimento de falhas. Com o intuito de avaliar o desempenho dos métodos são calculados os coeficientes de correlação (r) com critério mínimo de 0,7 para este coeficiente, e a raiz do erro médio quadrático (REMQ) (Tabela 1).

Na terceira parte, ocorre a assimilação de dados curados aos quais aplica-se o melhor dos quatro métodos de interpolação, preenchendo as falhas encontradas na *Etapa 1*. Nesta parte, também há o registro dos dados curados e dos dados de proveniência. Por fim, na quarta parte, ocorre a execução dos modelos meteorológicos adequados às pesquisas que utilizam os dados curados armazenados no banco de dados.

4. Avaliações Experimentais

Para avaliar a abordagem proposta, realizou-se uma série de experimentos com o *CrossFlow*, no qual utilizaram-se mais de 75 anos de séries de dados de dezenas de estações. Inicialmente, na *Etapa 1*, o *workflow* foi configurado para se conectar ao sistema *HidroWeb* e carregar todas as séries de dados no intervalo entre 1936 até 2013 das estações da região caracterizada na subseção 2.1 para o nosso banco de dados brutos. A seguir, executou-se a limpeza de cada uma das séries de dados de cada uma das estações (*Etapa 1*). Na Figura 4, são ilustrados todos os intervalos detectados sem falhas das 77 estações avaliadas (com raio de 30Km de separação entre elas).

A seguir, executou-se a limpeza de cada uma das séries de cada estação (*Etapa1*). Durante essa execução também foram elaborados mapas (apresentados na Figura 2) das estações alvo do estudo meteorológico que possuem séries com intervalos contínuos com o mínimo de 10 anos de médias mensais de precipitação e seus percentuais de falhas.



Figura 4 - Quantitativo de estações sem falhas no período 1936 até 2013.

Na *Etapa 2*, são executadas as atividades da validação cruzada para avaliar e identificar quais são os melhores métodos de preenchimento de falhas para a região e para o conjunto de estações estudadas. Na Tabela 1, são exibidos os índices da REMQ (em *mm*) para as 34 estações principais; sendo que em negrito são destacados os menores valores dos métodos de interpolação.

Ao analisar a Tabela 2 verificou-se que os métodos adotados para as análises quantitativas apresentadas na subseção 2.2 se mostram eficazes. Nesse estudo o método PR

obteve os menores índices da REMQ, avaliado satisfatoriamente em 73,5 % das estimativas. Os resultados obtidos mostram que o índice de correlação, em todas as estações avaliadas, foi superior a 0,7 para os quatro métodos utilizados. Pode-se destacar, em particular, a PR, que além dos menores índices de REQM, obteve correspondência superior a 0,9 em 55,9 % das regressões entre os valores estimados e os observados para a altura pluviométrica.

Tabela 1 - Resultados da raiz do erro médio quadrático (REMQ) em *mm* dos dados nas 34 estações principais.

Código ANA	PR	IQD	PRRL	RL	Código ANA	PR	IQD	PRRL	RL
2042027	35,19	35,68	34,49	47,00	2243005	35,76	43,51	38,98	38,79
2141003	36,24	40,84	42,29	41,02	2243006	35,16	39,42	36,02	48,27
2141006	30,53	33,39	32,19	37,89	2243007	46,13	49,41	46,99	51,67
2141007	28,79	29,70	33,41	41,36	2243008	32,11	37,17	34,06	47,28
2142014	34,79	39,53	34,37	37,60	2243009	59,80	55,47	59,16	57,71
2142016	46,65	44,92	45,52	46,07	2243010	36,88	40,43	37,21	46,60
2142022	37,75	40,94	40,79	48,97	2243011	31,21	35,35	32,79	46,16
2142058	33,76	34,15	35,03	42,69	2243012	27,63	26,43	27,22	31,15
2241004	46,72	54,09	54,91	142,10	2243013	34,11	38,68	38,54	44,63
2242001	39,59	41,17	39,56	47,44	2243014	28,74	28,29	28,65	30,99
2242002	47,00	51,61	46,13	47,17	2243015	34,51	38,24	37,61	53,49
2242015	45,35	60,09	61,85	54,11	2243016	35,45	36,00	36,42	52,77
2242017	45,64	57,95	57,74	76,93	2244038	59,29	63,76	66,54	61,82
2242018	47,94	50,72	50,10	62,33	2244039	83,04	82,51	81,94	97,26
2242019	35,58	37,73	37,14	64,05	2244041	39,26	63,26	57,75	52,45
2242023	53,70	74,08	70,29	109,34	2244043	43,01	55,66	48,42	54,56
2242029	43,22	42,73	42,91	49,89	2244046	52,57	60,62	70,77	61,14

Tabela 2 – Resumo dos resultados das estimativas

Método	< REMQ	Estações com $r > 0,9$
PR	25	19
	73,5%	55,9%
IQD	5	19
	14,7%	55,9%
PRRL	4	19
	11,8%	55,9%
RL	0	12
	0,0%	35,3%

Após a indicação do melhor método de preenchimento de falhas das séries, o *CrossFlow* é (re)parametrizado e de forma automática é novamente executado (*Etapa 3*). No entanto, desta vez as atividades de limpeza e validação não são executadas, pois o *CrossFlow* se conecta ao banco de dados curados e de proveniência, seleciona as 77 estações e aplica o melhor método (nesse estudo, o PR) em todas as séries de dados das estações previamente analisadas. Durante essa execução registram-se não só os dados brutos e curados, assim como os dados de proveniência retrospectiva (relativos às execuções do *workflow*, arquivos e seus parâmetros), isto é, para cada arquivo carregado, são correlacionados no repositório os dados originais (brutos), os dados transformados (curados), os dados de proveniência (método de interpolação aplicado), os agentes (usuários) envolvidos na execução do experimento, além das informações de *timestamp* sobre cada uma das transformações aplicadas. Por fim, na *Etapa 4*, o meteorologista pode utilizar os dados curados nos modelos meteorológicos que achar mais conveniente aos seus estudos (os modelos não estão apresentados neste texto).

Em vista do exposto, os primeiros resultados obtidos nos experimentos computacionais (já avaliados por equipes de meteorologistas) conduzem ao entendimento de que o uso da abordagem baseada em *workflows* e dados pluviométricos apoiados por validação cruzada tem

potencial para completar as falhas em longas séries de dados. Além disso, é ressaltada a capacidade dessa abordagem em realizar o processamento de grandes volumes de dados de forma automática, reduzir o tempo de análise por parte dos pesquisadores e gerar séries de dados de qualidade e anotadas por proveniência.

5. Trabalhos Relacionados

Existem abordagens na literatura capazes de tratar grandes volumes de dados meteorológicos e registrar a proveniência das execuções de *workflows* para verificar a qualidade destes dados. No entanto, nenhuma delas utiliza quatro métodos concomitantemente associados com a validação cruzada. Assim, apresentamos as abordagens mais semelhantes nessa seção.

Oliveira *et al.* (2010) propuseram um estudo comparativo entre os quatro métodos de interpolação para preenchimento de falhas cujo desenvolvimento e análise utilizou-se de planilhas eletrônicas. Os autores usaram dados de apenas seis estações por um período de apenas 22 anos e constataram que o método PR foi um dos melhores para o estudo de caso deles. Silva *et al.* (2014) avaliaram uma técnica de interpolação de dados baseada em imagens de satélite ao infravermelho em um sistema Web de controle de qualidade em dados de precipitação. Lemos Filho *et al.* (2013) desenvolveram um sistema Web de pré-processamento de dados pluviométricos e uso de proveniência associado ao método de RL para o preenchimento de falhas. Contudo, ressalta-se que nenhum dos autores citados acima utilizaram o paradigma dos *workflows* científicos.

De acordo com Guru *et al.* (2009) e Plale (2011) a utilização de *workflow* no ramo da Hidrologia representa diversas oportunidades de pesquisa. Por exemplo, os autores relatam as dificuldades relativas a integração e gerenciamento de dados e a necessidade da manutenção de dados brutos e curados para os estudos comparativos na área da qualidade. Saint e Murphy (2010) utilizam o sistema Kepler para automatizar o modelo hidrológico SWAT, que avalia o ciclo das águas em bacias hidrológicas da Austrália, no entanto, os autores não tecem maiores comentários sobre a etapa de carga e limpeza dos dados. Goodall *et al.* (2015) desenvolveram o sistema IRODS baseado em *workflows* para tratar dados meteorológicos de redes estadunidenses de operadoras distintas. Segundo os autores, esse esforço é necessário para assegurar não só a qualidade das pesquisas quanto para assegurar a reprodutibilidade dos experimentos.

6. Considerações Finais

Realizar o controle de qualidade de dados meteorológico não é uma tarefa trivial. Os dados brutos e interpolados são utilizados para previsões de tempo e clima e de trabalhos científicos. Portanto, assegurar sua qualidade, transparência e reprodutibilidade dos processos de produção de dados é de suma importância para o desenvolvimento de ações associadas ao planejamento urbano, industrial e agropecuário.

Diferentemente dos trabalhos disponíveis na literatura para a área, foi desenvolvido uma abordagem baseada em *workflows* científicos que utiliza validação cruzada baseada em quatro métodos de preenchimento que permitem aos meteorologistas transformar sistematicamente grandes volumes de dados inconsistentes em consistentes de qualidade e se beneficiarem da proveniência incorporada ao processo.

Por limitação de escopo este texto não se discutem as questões ligadas ao desempenho da abordagem nem as formas de recuperação de dados e de proveniência. Como trabalhos

futuros pretende-se adicionar um novo método de preenchimento de falhas (análise harmônica – série de Fourier). Além disso, planeja-se adicionar novos módulos que farão a análise de consistência de dados baseada no método de dupla massa e resíduo acumulado.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao programa ao Programa de Educação Tutorial, ao FNDE, a Red BigDSSAgro CYTED e *Microsoft Azure Research* (CRM:0518152) pelos financiamentos.

Referências

- ANA. Orientações para Consistência de Dados Pluviométricos. Disponível em <<http://arquivos.ana.gov.br/infohidrologicas/cadastro/OrientacoesParaConsistenciaDadosPluviometricos-VersaoJul12.pdf>>. Acesso em 10 de fevereiro de 2017.
- Bertoni, J. C.; Tucci, C. E. M. Precipitação. In: Hidrologia: Ciência e Aplicação, Org. Carlos E. M. Tucci, 2ª ed., Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS. 2001.
- Callahan, S. P.; Freira, J.; Santos, E. *et al.* VisTrails: Visualization meets Data Management. In: Proc. SIGMOD 2006, p. 745-747, USA, 2006.
- Cardozo, F.; Tomaz, U. R.; Cruz, S. M. S. Avaliando Uma Estratégia Computacional Baseada Em Workflows Científicos Apoiados Por Placas Gráficas Genéricas. In: ERSI 2016 p. 66-73, Brasil.
- Goodall, J. L.; Essawy, B. T.; Xu, H.; Moore, R. W. Data processing workflows to support reproducible data-drive research in hydrology. AGU Fall Meeting, 2015.
- Guru, S. M.; Kearney, M.; Fitch, P.; Peters, C. Challenges in using scientific workflow tools in the hydrology domain. 18th IMACS, Int. Congress on Modelling and Simulation, Austrália, p. 3514-3520, 2009.
- HidroWeb - Sistema HidroWeb. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br>>. Acesso em 14 de jan de 2017.
- Kohavi, R. A Study of Cross-Validation and Bootstrap for Accuracy Estimation and Model Selection. In: Proc. 14th Int. Joint Conf. on Artificial Intelligence – v. 2. San Francisco, CA, USA, p. 1137-1143, 1995.
- Lemos Filho, G. R.; Oliveira, E. S.; Lyra, G. B.; Cruz, S.M.S. Assimilação, Controle de Qualidade e Análise de Dados de Meteorológicos Apoiados por Proveniência, VII e-Science Workshop, XXXIII CSBC. 2013.
- Marengo, J. A. Mudanças climáticas, condições meteorológicas extremas e eventos climáticos no Brasil, p. 4-19. In: Marengo, J. A., Schaeffer, R.; Zee, D. M. W.; Pinto, H. S. Mudanças climáticas e eventos extremos no Brasil. p. 1-76. Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável, FBDS. 2009.
- Murphy S.; Saint K.; End-to-End Workflows for Coupled Climate and Hydrological Modeling. In: Int. Env. Modelling and Software Society. 8 pp. 2010.
- Oliveira, L. F. C.; Fioreze, A. P.; Medeiros, A. M. M.; Silva, M. A. S. Comparação de metodologias de preenchimento de falhas de séries históricas de precipitação pluvial anual. In: Rev. Bras. Eng. Agrícola e Ambiental, 14(11) 1186-1192. 2010.
- Moreau, L.; Missier, P.; Belhajjame, K. *et al.* PROV-DM: The PROV Data Model. W3C Recommendation REC-prov-dm-20130430, 2013.
- Plale, B. The Challenges and Opportunities of Workflow Systems in Environmental Research. 2011. Disponível em: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/versions?doi=10.1.1.298.8237>
- Silva, F. D. S.; Ramos, R. M.; Costa, R. L.; Azevedo, P. V. Sistema de controle de qualidade para dados diários de variáveis meteorológicas. Rev. Bras. de Geografia Física, vol, 07, n. 05, 2014.

Evaluation of Nature Inspired Metaheuristics for Search and Reconnaissance Operations by Rotary-wing Aircrafts

André M. Yokoyama¹, Antonio R. Mury², Mariza Ferro¹, Bruno Schulze¹

¹Laboratório Nacional de Computação Científica (LNCC)
Getúlio Vargas, 333, Quitandinha – Petrópolis – Rio de Janeiro

²Universidade Católica de Petrópolis (UCP)

andre.yokoyama.ist@gmail.com, {mariza,schulze}@lncc.br

Abstract. *The main objective of this work is the evaluation of two nature inspired meta-heuristics, Genetic Algorithms and Ant Colony, for the development of an application that can generate optimized routes for aircraft, attending the requirements of the Brazilian Navy. This work presents the methods developed, complying with two main constraints: checkpoints mobility and limited aircraft autonomy. It also presents the results of tests performed with the methods developed and an evaluation of their performances.*

1. Introduction

In Brazil the sum of the areas of the Exclusive Economic Zone and Continental Shelf is nearly 4.5 million square kilometers. This territory contains our reserves of oil and natural gas and all the mineral wealth of the subsoil [Wiesebron 2013]. However, to exercise its rights, Brazil must be able to exercise its maritime power. This work deals with the problem of determining the best way to perform reconnaissance operations carried out by naval force operating in a maritime area. The reconnaissance operations consist in the search of useful information in a given area in order to guide the use of military means. These operations are carried out by reconnaissance and attack helicopters carried on board Navy vessels. The goal is to determine the best route that this rotary-wing aircraft will do, in order to be able to identify the largest number of targets in a given area.

This problem is similar to the Traveling Salesman Problem (TSP), but has significant differences from the classical model, as both the point of origin and the destination points are mobile. Also the “salesman” (in this case the helicopter) has a limit of distance to travel and the points to be visited (the targets) can have different priority values.

1.1. Related Works

The use of meta-heuristics inspired by nature, in particular Genetic Algorithms (GA) and Ant Colony Optimization (ACO), to solve NP-hard problems, like the TSP, have shown good results [Yang et al. 2008, Chatterjee et al. 1996]. For this reason, we chose to evaluate the use of these two meta-heuristics, GA and ACO, since the problem we are dealing with is similar to the TSP. After an extensive review of the literature were found works that make adaptations of these methods for the TSP problem, like [Li et al. 2008] for ACO and [Hassan et al. 2013] for AG. However, no studies were found that adapt these methods to the problem addressed in this work.

Based on the problem described, we developed some methods based on GA and ACO to solve the problem of air reconnaissance of targets. This work proposes the evaluation of these meta-heuristics to determine the feasibility of its use to solve the problem

addressed, given the constraints for the problem. The methods developed, its evaluation and results obtained are presented in Sections 3 and 4.

2. Methodology and Proposal

This section presents the methodology applied in the experiments, the proposed functions for each method and the description of the experiments. The methodology adopted in this work is divided into two main steps: The first step focuses on the development of methods based in the GA and ACO for the solution of the proposed problem, taking into account only targets mobility. The second step adapts the application created in step 1 to include a new restriction: the aircraft autonomy limit. This requires the inclusion of a new objective to the problem, the maximization of the number of identified targets, since, given the limited range of the aircraft, it may not be possible to identify all the targets.

For each step is proposed a set of tests which have characteristics in common and also specific parameters, both for GA and ACO. Common for all we have that for each test will be used two different datasets that we named 'C1' and 'C2'. These datasets are randomly generated, but following certain constraints to make them as close to a real life scenario as possible. They include setting the targets at distances greater than 15 nautical miles from the mother ship, which is the average distance where the targets could be visually identified by mother ship itself, and with a maximum possible speed of 32 knots, equivalent to the average attack speed of military ships which is 60% than the cruise speed of commercial vessels. The coordinate system used was the Cartesian plane but the application can use the spherical or geographical coordinate if needed. The number of targets for each dataset was defined as 20.

The specific ones for GA and ACO are: based on the literature and the initial tests with the classical TSP, it was concluded that a population size for GA of 100 individuals would be the ideal for a series of 20 targets. For ACO it was defined to be equal to the number of targets in the datasets (20). Regarding the Number of individuals to be preserved or elitism for GA, we choose to use elitism to preserve the best individual of the newly generated population and to preserve the two best individuals in each generation. For GA, the crossover probability = 80% and Mutation probability = 1%. Maximum number of generations: for GA it was evaluated the evolution curve [Yokoyama 2016] of the quality of the solutions in relation to the number of generations and it was observed any improvement in the results (in 99% cases) beyond 1000 generations. For ACO = 200.

3. Proposed Methods and Results - Step 1

This first step is focused on the development of methods based on the ACO and GA meta-heuristics. The functions for each method were developed based on the classical functions. But, to attempt the requirements of the problem addressed in this work, we propose our own methods. We are presenting the more important functions implemented, because of the limitations of space. The complete set of functions are in [Yokoyama 2016].

In this step is considered only the mobility of points (targets) to be identified. For the classic TSP the distances between points to be visited is previously known or is calculated in application startup. These distances are stored in a matrix of distances. However, due to the fact that in the problem addressed the targets are moving, the distance matrix can not be determined at the beginning of applications. The distance between each target varies according to their order on the route as well as the order of the preceding

targets. The proposed methods and results obtained, applied on the two datasets C1 and C2, are presented next.

Functions Proposed for the Ant Colony Optimization

The *Exploration Function* is responsible for building the route of each ant. In our proposal, the assembly of the route is always initiated by the target 0 (the mother ship). The selection of the next steps is performed by a simple roulette method where the probability of a target to be selected is directly proportional to the amount of pheromone in the edge between the current target and the candidate target and inversely proportional to the distance between them:

$$P_j = \begin{cases} \frac{\tau_{ij}^\alpha \cdot \delta_{ij}^\beta}{\sum_{k \in N} \tau_{ik}^\alpha \cdot \delta_{ik}^\beta} & \text{if } j \in N \\ 0 & \text{if } j \notin N \end{cases} \quad (1)$$

where i is the current and j the candidate target; τ_{ij} the amount of pheromone between i and j ; $\delta_{ij} = \frac{1}{D_{ij}}$ and D_{ij} the distance between i and j ; N is the set of all targets that have not been selected yet; α and β are weights defining the importance given to each parcel. This function is also responsible for invoking our *Pheromone Deposit Function* and the *Pheromone Evaporation Function* functions [Yokoyama 2016]. For *Tracks Initialization Function*, all edges are started with the same amount of pheromone ($\tau_{ij} = 0.1$). Tests performed at this step using this functions are called **ACO**.

Functions Proposed for the Optimization Based on Genetic Algorithm

We implemented two functions for *Individuals Generation* to generate the initial population. The first, *Individuals Generation* with equal probability of selection of targets, generates a random permutation of available targets, without any bias. It is always initiated by the target 0 (the mother ship). Tests performed at this step that used this function are called **GA**. The second is the *Individuals generation* with a probability of choice of target proportional to the distance. The creation of the chromosome is always initiated by the target 0. The selection of the next alleles is performed by a simple roulette method, where the probability of a target to be chosen is inversely proportional to the distance between the current target and the candidate target given by the Equation 2.

$$P_j = \begin{cases} \frac{\delta_{ij}^2}{\sum_{k \in N} \delta_{ik}^2} & \text{if } j \in N \\ 0 & \text{if } j \notin N \end{cases} \quad (2)$$

where i is the current and j the candidate target; $\delta_{ij} = \frac{1}{d_{ij}}$ and d_{ij} the distance between i and j ; N is the set of all targets that have not been selected yet. The tests performed using this function were called **GA-2**.

The *Mutation function* implemented for this stage randomly selects any two different alleles of the individual's chromosome with the exception of the first allele of the sequence, and swaps their respective positions.

The *fitness function* evaluates the fitness of each individual of the population. For this step the fitness is given by a simple equation (Equation 3), since this step focus only on the impact of the mobility of the targets.

$$f_i = d_{min} + d_{max} - d_i \quad (3)$$

where d_{min} is the shortest distance observed in the assessed population, d_{max} a greater distance observed and d_i the distance of the i -th individual.

Functions for Crossover and some other functions not presented here are detailed in [Yokoyama 2016].

Results for datasets C1 and C2: In Table 1 are related the lowest and highest error obtained by each method (GA, GA-2 and ACO), the average error obtained in the tests and the percentage of results above the tolerance of 20% of error, for datasets C1 and C2. The best values are shown in bold.

	C1			C2		
	GA	GA-2	ACO	GA	GA-2	ACO
Lower error (%)	0	3.07	0.61	0	0	1.54
Average (%)	12.77	5.49	17.01	15.45	10.80	10.75
Higher error (%)	49.85	28.90	31.41	55.19	31.74	22.59
Errors above 20%	25.4	0.01	25.8	29.7	9.2	0.6
Average runtime	18sec	18sec	1 sec	18sec	18sec	1 sec

Table 1. Results for datasets C1 and C2

Looking at Figure 1 and first columns of Table 1 we can observe the results for dataset C1. Errors for GA-2 are mainly concentrated in the band of 4% (more than 60% of occurrences). Although for GA the concentration peaks were similar as in GA-2, the concentration was much lower, and the results were much more spread over the observed error bands. For ACO the results were distributed between 10% to 21% ranges.

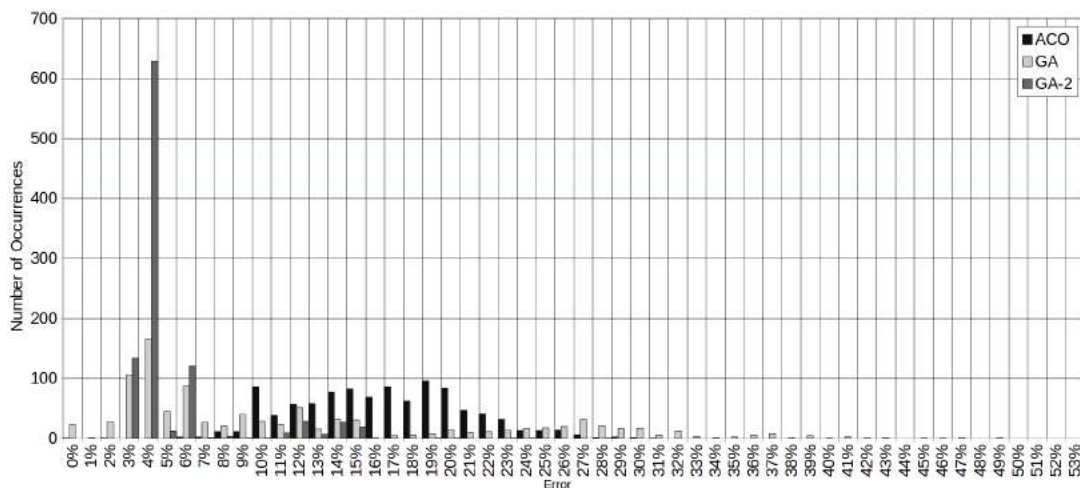


Figure 1. The combined histograms of the results for the datasets C1 - Step 1.

In the final columns of Table 1 are presented results for data set C2¹. For the three methods, the higher concentration of results are between the error bands of 2% and 20%. For ACO, the main concentration points are in 10 and 6% of error bands. For GA-2, the highest concentration of results are in the bands of 2, 5, 6 and 10%. These results are distributed over a much longer interval than in ACO, ranging from 0% to 31%, implying

¹The graphic is similar to C1, but is not been show by space limitations. The same in step 2. All graphics are in [Yokoyama 2016].

in a lower quality of results than ACO. GA obtained the worst overall quality of results, which are spread over a much longer interval than for other methods (up to range of 55%).

For both datasets, although execution times for GA and GA-2 were considerably longer (about 18 seconds) than for ACO (one second), the times for the three methods were considered very good. These times allow, for example, multiple executions of the methods during the briefing of the mission, or even run the application during the flight of the aircraft, if it were necessary to draw up a new route. These results point to the feasibility of the methods proposed and implemented in this step.

4. Proposed Methods and Results - Step 2

This step includes the restriction for the autonomy limit of the aircraft. This new restriction implies that not all designated targets can be identified without the aircraft having to return to the mother-ship for refueling. Thus, the inclusion of a new goal it is necessary: maximizing the number of targets identified on the basis of autonomy limit, because only minimizing the route does not produce acceptable solutions. Since there is no need to identify all targets, the smallest route would be the one with only the target with shortest total distance, relative to the mother-ship. Following we present the adaptations made in the functions used in Step 1. The complete set of functions adapted and implemented are available at [Yokoyama 2016]. These adaptations include modifications of functions previously used and the inclusion of new functions to meet the new restrictions.

New functions Proposed for the Ant Colony Optimization:

The *Pheromone Deposit Function* was adapted and the amount of pheromone is inversely proportional to the length of each edge (i, j) given by Equation 4:

$$\Delta\tau_{ij}^k = \begin{cases} \frac{C}{d_{ij}} & \text{if the edge}(i, j) \text{ is part of the ant } k\text{'s route} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

C is a constant and d_{ij} is the distance of the edge (i, j) traversed by the ant k .

We proposed two versions of the *Exploration Function*. For both the route construction is done in a similar way to that seen in step 1 and using the same Equation 1. In the first version, after selecting each target (except for the mother-ship), the total distance of the route is evaluated. If this distance is greater than the maximum autonomy limit of the aircraft, the newly selected target is discarded, with only the previously selected targets remaining, and the route construction process is completed. If the distance is less than the autonomy limit, the route construction process continues until the limit distance is exceeded, or all targets are selected. The total distance of the route is considered the distance to the last selected target plus the return distance to the mother ship. During the construction of the route, the pheromone deposit is also carried out at the edge between the previously selected target and the newly selected target by means of the Pheromone Deposition Function. At the end of route construction, if it has at least one valid target (other than 0), it is stored until the total number of routes defined for each iteration. This number is equal to the number of targets in the dataset. Then the evaluation function is applied to the generated route set. After the evaluation of the routes the Pheromone Evaporation Function is applied on all the edges. This process is repeated at each iteration. The tests with this version of the Exploration Function are called **ACO**.

In the second version of the *Exploration Function*, the check is not performed if the route is still valid after insertion of each new target, as in the first version. As in step 1, new targets are added to the route until all targets in the data set have been added. After the route has been built, with all the available targets, the evaluation process begins. This is an iterative process where the first iteration consists of evaluating the total distance of the route with all steps. For each new iteration, the step number is decreased by 1, ignoring the steps at the end of the route. This process continues until the only remaining target is "0". At each iteration, if the total distance of the route to the last evaluated target exceeds the autonomy limit of the aircraft, this route target is replaced by "0". However, if the total distance is less than or equal to the autonomy, the pheromone deposition function is applied over the edges to the last target evaluated in the iteration. In this way, the invalid portion of the route is deleted and the valid part is enforced. At the end of this process the route is stored and the process of creating a new route is started. This process is repeated until the number of routes stored is equal to the total number of targets as in the first version quoted above. Pheromone Evaluation and Evaporation Functions are then applied. This process is repeated at each iteration until it reaches the maximum number of iterations. Tests with this version of the Exploration Function are called **ACO-2**.

For the *Evaluation Function*, unlike step 1, the evaluation is made based on route distance and the number of enlightened targets in the route. So, that the greater the number of targets the better the route, given by Equation 5.

$$f_i = ((l_{s_{min}} + l_{s_{max}}) - l_{s_i}) * \left(\frac{s_i}{S}\right) \quad (5)$$

where l_{s_i} is the average step-distance of the i -th route defined by $l_{s_i} = \frac{l_i}{s_i}$; $l_{s_{min}}$ is the lowest value of l_{s_i} and $l_{s_{max}}$ is the largest value of l_{s_i} in the evaluated route set; l_i is the total distance of the i -th route; s_i is the number of targets of the i th route; S is the total number of targets in the input data set.

New functions for the Optimization Based on Genetic Algorithm:

Due to the fact that the parents individuals in this step can have different amounts of targets, the *Crossover Function* need some adaptations. For *Fitness Function*, the fitness (defined by Equation 5) is given by the distance of the route represented by each individual and the number of enlightened targets, so that the shorter the route and the greater the number of targets, the better the fitness.

The Mutation function implemented is similar to the one used in step 1 with two alleles are selected to be swapped, but with the first one being selected from the alleles of the individual on which the function is being applied, and then a set of candidate alleles is created. This candidate set includes all targets of the input data set except for target 0 and target represented by the first allele selected for mutation. The second allele is selected from the set of candidates, if this allele is part of the sequence of the individual, the position of the two alleles are swapped. Otherwise, the first allele is replaced by the second allele. In this way it is ensured that no element in the sequence is repeated and also allows elements that were not part of the initial sequence to be included. This function also randomly decides if the mutation operation will occur or not, it may even occur multiple times.

The functions for Individuals Generation, Selection and Evolutions are presented at [Yokoyama 2016].

4.1. Results for datasets C1 and C2

The analysis were done based on the percentile of error related to the best solution found for each dataset (C1 and C2). The error is calculated on the normalized value of the fitness, where the highest fitness was considered as 100 % and is given by $e_i = 100 - a_i$ where a_i is the normalized fitness value of the evaluated solution.

In Table 2 are related the results for datasets C1 and C2. In this table we can observe that all methods using C1 obtained solutions with 0% error. The ACO-2 method obtained the lowest average error (0.06%). The errors obtained by ACO and ACO-2 was below 6%, while for the GA and GA-2 were above 45%. In addition, only the ACO and ACO-2 methods showed all results below the tolerance of 20% error.

	C1				C2			
	GA	GA-2	ACO	ACO2	GA	GA-2	ACO	ACO2
Lower error (%)	0	0	0	0	0	0	0	0
Average (%)	12.19	4.87	0.24	0.06	12.19	4.87	0.026	0.032
Higher error (%)	50.82	46.97	5.11	5.47	52.15	38.39	6.45	5.98
Errors above 20%	24.5	0.3	0	0	35.5	0.7	0	0
Average runtime	5sec.	5sec.	1 sec.	1 sec.	5sec.	5sec.	1 sec.	1 sec.

Table 2. Results for datasets C1 and C2 - Step 2

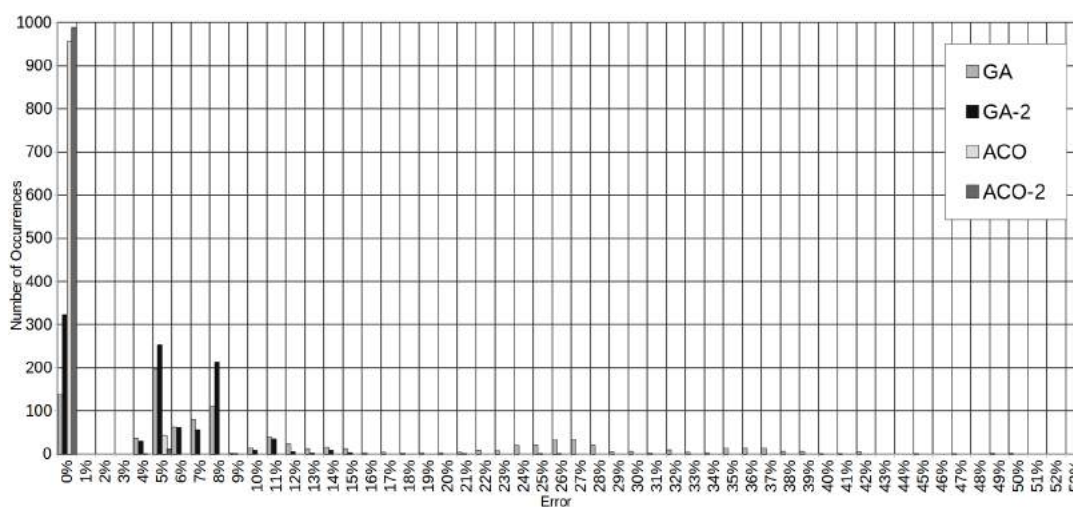


Figure 2. The combined histograms of the results for datasets C1

In the graph of Figure 2 are presented the results for dataset C1. It can be seen that ACO-2 had the concentration point in the range of 0% of error (98.9% of the results), presenting the best overall quality of the results. It is followed by ACO, with 95.6% and GA-2 with 32.3% and GA with 13.8% of the results in the range of 0% of error.

The results for dataset C2 are similar to C1. ACO and ACO-2 have a superiority of the overall quality of the solutions, with respectively, 98.4% and 98.2% of the results in the range 0% error and for both, the error did not exceed 6%. Although the GA-2 obtained a good amount of results in the 0% error range (66% of the results), the results were spread over larger range of errors, reaching 23% of error. Thus, presenting a general quality lower than ACO and ACO-2, but still being considered good. The GA obtained a small amount of results in the 0% error range, with a considerable peak in the 15% error range, resulting in a very low overall quality.

For both, C1 and C2 (Table 2), the execution times was on average 1 second for ACO and ACO-2 and approximately 5 seconds for GA and GA-2. In general, these times were considered very good for the four methods, allowing for example, multiple execution of the methods during the mission briefing, or even to execute the application in-flight if a new route is required.

Finally, with the results presented in this section, we observed that the methods based on ACO (ACO and ACO2) have the best performance for all tests. In addition, they presented greater stability in the results and also the lower maximum error value observed for each dataset, as well as the shorter execution times. So, these methods could be indicated to be used in the problem analyzed in this work.

5. Conclusion

Analyzing the results obtained with the two meta-heuristics, we could conclude that the methods proposed and implemented are good approaches to solve the problem of air reconnaissance of targets. Although both heuristics presented satisfactory results, the use of the methods based on ant colony optimization are the most suitable for the problem addressed in this work. Not only the ACO presented the best overall results but also the best time to solution. However, it is important to note that, although this meta-heuristic has been used quite successfully for optimizing solutions to combinatorial problems, they tend to suffer with “traps” of local optimum depending on the size of the problems. In addition, the time of execution tends to increase due to the size of the problem. The experiments performed in this work were based on 20 targets, but preliminary tests support the analysis presented here for up to 60 targets.

As future works are considered to adapt the methods developed in this work to include three new restrictions (importance, obligatory identification and prioritization of targets) and the optimization of the algorithm through the use of distributed computing.

References

- Chatterjee, S., Carrera, C., and Lynch, L. (1996). Genetic algorithms and traveling salesman problems. *European Journal of Operational Research*, 93(3):490–510.
- Hassan, M. R., Hasan, M. K., and Hashem, M. M. A. (2013). An improved acs algorithm for the solutions of larger tsp problems. *CoRR*, abs/1304.3763.
- Li, B., Wang, L., and Song, W. (2008). Ant colony optimization for the ts problem based on ants with memory. In *4th International Conference on Natural Computation*. IEEE.
- Wiesebron, M. (2013). Amazônia azul: Pensando a defesa do territorio marítimo brasileiro. *Rev. Brasileira de Estratégia e Relações Internacionais*, 2(3):107 – 131.
- Yang, J., Shi, X., Marchese, M., and Liang, Y. (2008). An ant colony optimization method for generalized tsp problem. *Progress in Natural Science*, 18(11):1417 – 1422.
- Yokoyama, A. M. (2016). Avaliação do uso de meta-heurísticas baseadas no comportamento da natureza em apoio a operações de esclarecimento por aeronaves de asa móvel. Master’s thesis, Laboratório Nacional de Computação Científica. <http://comcidis.lncc.br/downloads/dissertacao/mestrado/tIw2DDb3WqS.pdf>.

An Architecture for Animal Sound Identification based on Multiple Feature Extraction and Classification Algorithms

Leandro Tacioli¹, Luís Felipe Toledo², Claudia Bauzer Medeiros¹

¹Institute of Computing, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)
Campinas - São Paulo - Brazil

²Institute of Biology, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)
Campinas - São Paulo - Brazil

leandrotacioli@gmail.com, toledolf2@yahoo.com, cmbm@ic.unicamp.br

Abstract. *Automatic identification of animals is extremely useful for scientists, providing ways to monitor species and changes in ecological communities. The choice of effective audio features and classification techniques is a challenge on any audio recognition system, especially in bioacoustics that commonly uses several algorithms. This paper presents a novel software architecture that supports multiple feature extraction and classification algorithms to help on the identification of animal species from their recorded sounds. This architecture was implemented by the WASIS software, freely available on the Web.*

1. Introduction

Audio recognition systems have been developed to several domains, such as automatic speech recognition [Yu and Deng 2015], music information retrieval [Grosche et al. 2012], and bioacoustics [Aide et al. 2013] - subject of this work. The study of bioacoustics is related to every sound produced by or affecting all kinds of living organisms, although it is a science oriented to animal communication [Schöner et al. 2016]. The vast majority of researchers in this field are specialized in few or only one animal group, hence most of the recognition tools in bioacoustics are designed to meet the needs of the experts in question [Aide et al. 2013]. Algorithms have been created or applied to automate identification of target animal groups, for instance, amphibians [Noda et al. 2016] and birds [Stowell and Plumbley 2014].

Animal identification through their sounds allows, for example, the estimation of population trends of key species in sensitive areas [Bardeli et al. 2010] or provides changes in ecological communities over time [Frommolt and Tauchert 2014]. One advantage of bioacoustics lies in the detection of animal sounds in the absence of an observer [Bardeli et al. 2010]. Moreover, it is a popular non-invasive method to study animal populations, biodiversity, and taxonomy [Frommolt and Tauchert 2014, Köhler et al. 2017].

Primary challenges during the development of sound retrieval systems are the identification of effective audio features and classification techniques. Feature extraction focuses on extracting meaningful information from audio signals, while classification use these extracted data to match against the respective data of samples from a repository. A major concern in audio recognition systems is how feature extraction is coupled to the classification algorithms, preventing the reuse of code in other contexts and limiting

the ability of researchers to exchange features [McEnnis et al. 2005]. Furthermore, researchers demand architectures that allows them to implement new algorithms without major concerns with supporting infrastructure for data manipulation and scheme evaluation [Hall et al. 2009].

Given this motivating and challenging scenario, the main contribution of this paper is a novel architecture that supports multiple feature extraction and classification algorithms to identify animals based on their sounds. The architecture is extensible and can accommodate a number of new algorithms. It has been implemented in the WASIS¹ software, also described in this paper.

2. Related Work

2.1. Audio Features

Audio features represent the way in which meaningful information is analyzed and extracted from audio signals to obtain highly reduced and expressive data that are suitable for computer processing [Schuller 2013]. Note that the amount of data in raw audio files would be too big for their direct processing; moreover, considerable information (e.g., frequency variation and timbre) would not be perceptible in their signal waveforms, often inappropriate for audio retrieval [Mitrovic et al. 2010].

The feature extraction process generates output vectors that are normally called feature descriptors. These feature descriptors are the fundamental information that classifiers use. A failure to capture these relevant information of audio signals will result in poor performance, no matter how good the classifier is [McEnnis et al. 2005].

The performance of audio features may be affected by a series of factors in animal identification systems, such as the presence of background noise and the duration of animal calls [Xie et al. 2016]. Feature fusion is a technique that is able to combine two or more audio features and attenuate their disadvantages, as reported by [Noda et al. 2016].

2.2. Audio Classification

Audio classification is the process by which an individual audio sample is assigned to a class, based on its characteristics [Liu and Wan 2001]. These characteristics are the *feature descriptors* of the audio sample that will be used on the identification. In animal sound recognition, each species represents one class, usually labelled by its taxonomic information (e.g., family, genus, and specific epithet).

Two classification approaches are found in the literature:

- *Brute Force* - The classification is performed by linearly traversing the entire set of feature descriptors, providing similarity results among several audio segments [Mitrovic et al. 2010]. One statistical algorithm used for this approach is Pearson Correlation Coefficient (PCC);
- *Class Model* - Considered by the literature the main approach for audio classification [Sharan and Moir 2016]. Commonly, it employs supervised machine learning algorithms for animal identification. Popular algorithms using this method are Support Vector Machine (SVM) and Hidden Markov Model (HMM).

¹ WASIS: Wildlife Animal Sound Identification System (Version 1.5.0)
<http://www.naturalhistory.com.br/wasis.html>

2.3. Typical Architectures for Audio Retrieval

The general approach to automatic sound recognition (ASR) is commonly inspired from techniques employed in speech recognition systems, and most of these ASR systems have a model based on three key steps, according to [Sharan and Moir 2016]: (a) *signal pre-processing*, responsible for preparing the audio signal for (b) *feature extraction*, and (c) *classification*. However, this model of a typical architecture considers only machine learning-based algorithms, ignoring other techniques, such as the *Brute Force* approach.

[Mitrovic et al. 2010] described a more detailed architecture based on three components: (a) *Input Module* that performs feature extraction from audio stored in an audio database, and persists the descriptors into a feature database; (b) *Query Module* in which the user provides audio objects of interest for identification and feature extraction is also performed in these objects; and (c) *Retrieval Module* that estimates the similarity among the user's and the feature database's audio objects, returning the most similar objects.

3. Proposed Architecture

This work is focused on a novel architecture to support the identification of animal species based on their sounds. This architecture combines multiple algorithms for audio feature extraction and audio classification to a suite of data repositories. The WASIS software is the first implementation of the proposed architecture - described in Section 4.

3.1. Overview

Figure 1 presents an overview of our architecture. The inputs are *Audio Files*, in which users select *Audio Segments* - also known as regions of interest (ROIs). These ROIs are forwarded to the *Feature Extraction* module (1). Several feature extraction techniques can be performed for each audio segment, as well as the *Fusion* among these feature representations (2). The results of this extraction process (3a; 3b) are the *Feature Descriptors*. The results of this extraction process (3a; 3b) are the *Feature Descriptors*.

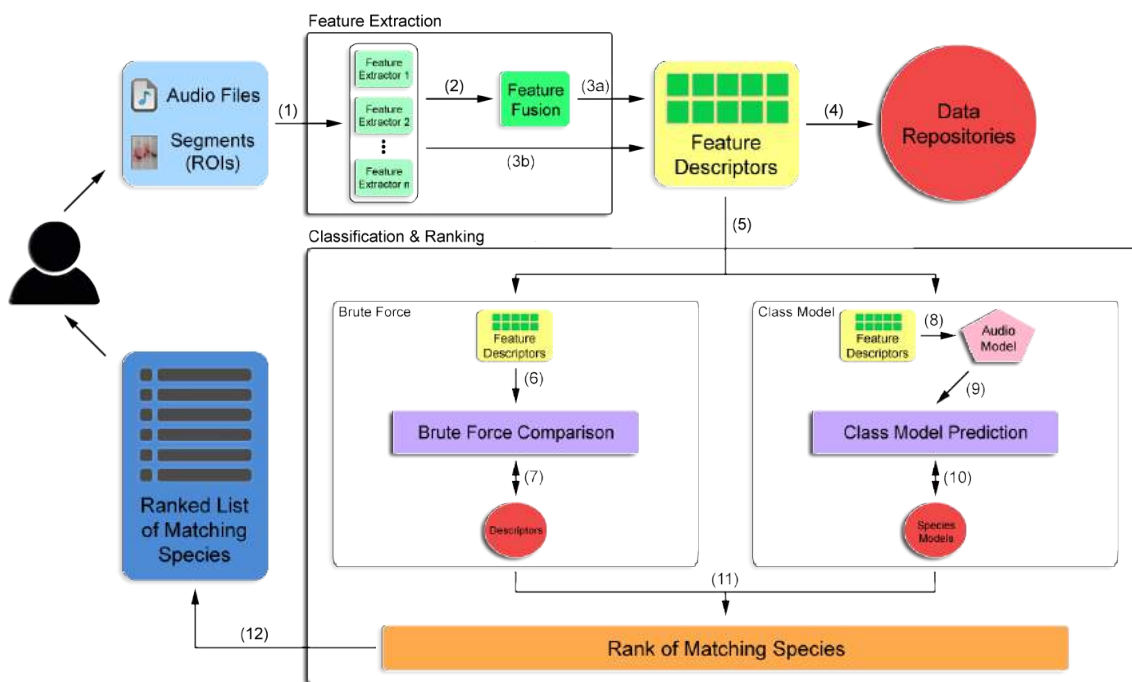


Figure 1. Detailed software architecture.

The *Data Repositories* component represents all the different repositories created/accessed in the architecture. In particular, *Descriptors* and *Species Models* (bottom circles of the figure) belong within the general *Data Repositories* - detailed in Section 3.2.

The *Feature Descriptors* can be either stored into the appropriate data repository with the associated metadata of their audio files (4) or sent directly to the *Classification & Ranking* module (5). The first choice (4) is more suitable for users who want to create their own database for future identification. The second choice (5) is more appropriate for those who just want to identify the animal species from the sound samples.

The *Classification & Ranking* module classifies the input ROIs. It receives *Feature Descriptors* as inputs (5). For the *Brute Force* approach, the *Brute Force Comparison* module calculates the similarities among the *Feature Descriptors* (6) and the descriptors of audio segments previously stored in their appropriate repository (7). In the *Class Model* approach, an *Audio Model* is created from the *Feature Descriptors* based on a machine learning algorithm (8). Then, the *Class Model Prediction* module estimates the similarity degrees among the *Audio Model* (9) and the *Species Models* stored in their repository (10).

Note that both *Brute Force* and *Class Model* approaches are processed totally apart. There is no combination of their results, though both kinds of results are independently ranked by the *Rank of Matching Species* (11). The final output shows a ranked list of matching species (12).

3.2. Data Repositories

Figure 2 details our data repositories and highlights which components of the architecture are responsible for processing, retrieving and persisting information to these data repositories. These are the repositories mentioned in the architecture overview (Figure 1).

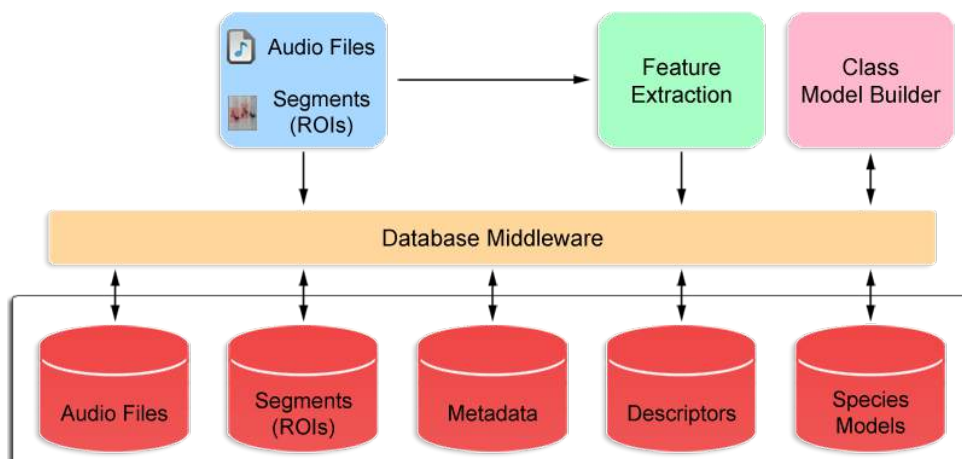


Figure 2. Structure of the data repositories.

Each data repository stores different information from particular modules:

- *Audio Files* - Raw audio files for processing;
- *Segments (ROIs)* - Regions of interest where the audio signals will be used to identification;

- *Metadata* - Information used to identify, describe and organize the audio files. In animal sound recognition, the most important information is scientific classification, followed by recording location, date and time;
- *Descriptors* - The outputs of the *Feature Extraction* module;
- *Species Models* - Particularly used in machine learning-based classifiers, models of animal species are trained from their respective feature descriptors to predict whether an audio segment belongs to a specific species.

The *Database Middleware* provides a bridge between the modules of the architecture and the data repositories. This access granted by the *Database Middleware* allows the modules of the architecture to retrieve or persist information into the data repositories for any desired module. Moreover, if new feature extraction techniques are implemented, the *Feature Extraction* module is able to process the audio files and their ROIs already stored in the data repository and generate its own *Descriptors*. The same goes for newly implemented classifiers that can invoke the *Class Model Builder* module to generate their own *Species Models*.

3.3. Class Model Builder

The architecture also provides the *Class Model Builder* (Figure 3), which requests metadata and feature descriptors of the audio files stored in the data repositories, to create models that are able to identify animal species.

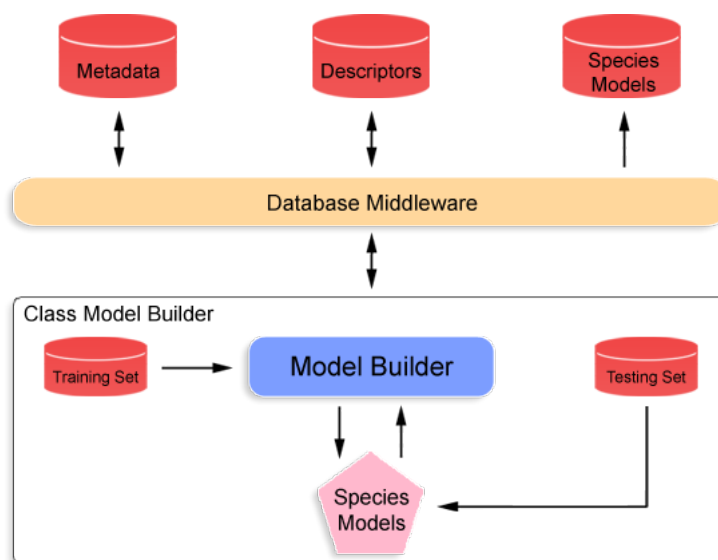


Figure 3. Design of the *Class Model Builder*.

The *Class Model Builder* sets up two datasets with the metadata and features descriptors. The *Training Set* is responsible for providing feature descriptors to the machine learning algorithm that will create the *Species Models*. Using different data from those used by the *Training Set*, the *Testing Set* is set up for the purpose of estimating how well the models were trained and optimize the parameters of the models. Lastly, the final task of the *Class Model Builder* is persisting the trained and optimized *Species Models* to the appropriate data repository.

4. Implementation Aspects

The first prototype developed, WASIS, is based on *Power Spectrum* feature representation and *Pearson Correlation Coefficient*, restricting the present prototype to the *Brute Force* classification approach. *Power Spectrum* describes the distribution of audio signal's maximum power over given frequency bins. *Pearson Correlation Coefficient* is a measure of the strength of the association between two variables.

The prototype was implemented in Java platform, using MySQL and H2 database technologies. Currently, the sound database contains sound samples from amphibians, birds, and primates. Such samples were selected from Fonoteca Neotropical Jacques Vielliard (FNJV)², considered one of the ten largest animal sound libraries in the world.

At present, additional features extraction algorithms are being implemented, such as Mel Frequency Cepstral Coefficients (MFCC), Linear Predictive Coding (LPC), Linear Prediction Cepstral Coefficients (LPCC) and Perceptual Linear Predictive (PLP), as well as the fusion among these feature representations. In addition, machine learning algorithms for the *Class Model* approach are being implemented to perform audio classification, such as Hidden Markov Model (HMM) and Support Vector Machine (SVM).

4.1. Case Study

Let us consider the following case study: a scientist has recorded a given bird species and wants to check its identification using WASIS. Initially, the scientist has to select audio segments (ROIs) that contain the bird vocalizations to be identified. Figure 4 illustrates a screen copy of WASIS interface which shows in red squares, the audio segments selected.

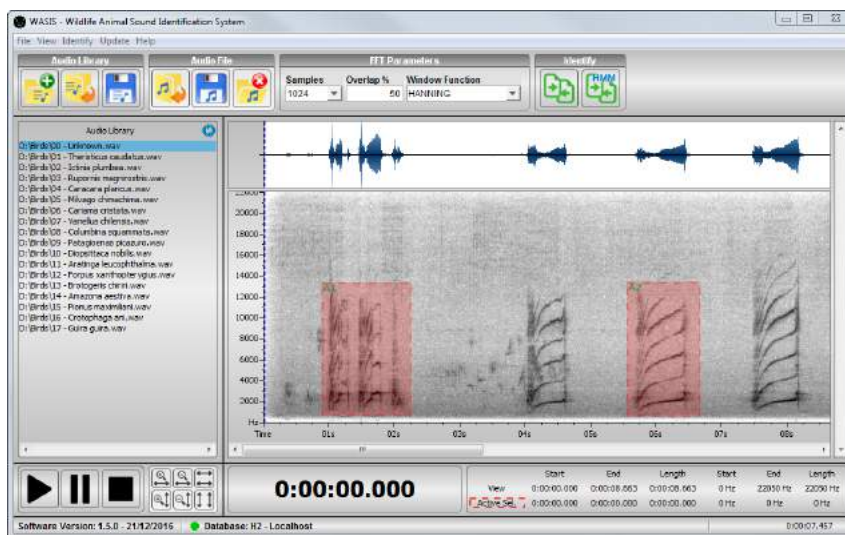


Figure 4. WASIS interface with audio segments to be identified.

Figure 5A shows a screen copy of the results of an audio segment comparison. The prototype performs the comparison according to the architecture flow. Initially, the module extracts feature of the audio segment requested by the scientist, returning the descriptors necessary to the classification. Then, these descriptors are matched against

² Fonoteca Neotropical Jacques Vielliard (FNJV), UNICAMP, Brazil - <http://www2.ib.unicamp.br/fnjv/>

data contained in the *Descriptors* repository using the *Brute Force* approach. A ranked list of matching species is returned. The higher the correlation coefficient between two audio segments, the higher the probability of a species being classified correctly. In this example, the prototype indicates that the audio segment selected by the scientist belongs to a Smooth-billed Ani (*Crotophaga ani*).

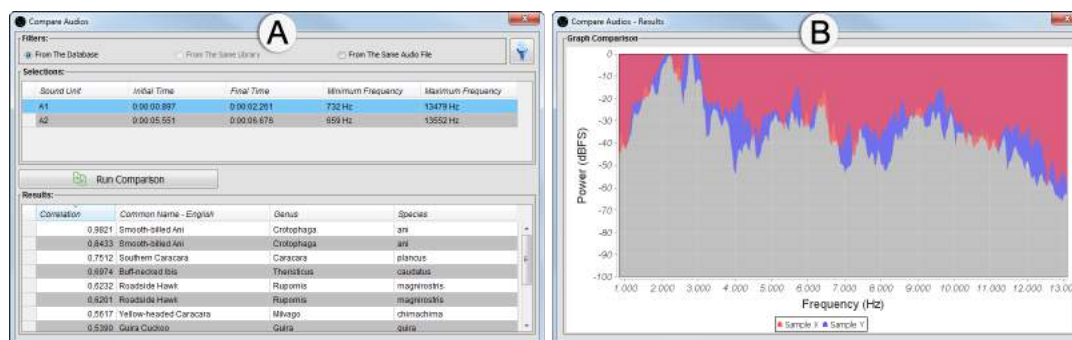


Figure 5. (A) shows the screen for audio comparison with its results, while (B) shows the data of the scientist segment (magenta) against the data of a sample from the *Descriptors* repository (blue).

The prototype also provides detailed information about the audio comparison. Figure 5B illustrates a visual comparison between audio segments, providing more information about the features extracted. The *Power Spectrum* feature extraction employed in the prototype shows the signal's maximum power (vertical axis) over the frequency bins (horizontal axis).

5. Conclusions and Future Work

The ability to identify animal species based on their sounds is extremely useful for scientists. This work presents a software architecture for bioacoustics that supports multiple audio feature extraction, feature fusion, and classification algorithms and is capable of performing the identification of animal based on their sounds. A prototype was implemented with one feature/classifier set for animal sound identification, and a case study explained how a scientist can use the prototype.

We are implementing several feature extraction and classification algorithms for sound recognition. Our purpose is to create a repository for storing these algorithms, avoiding implementation errors of those who want to reuse these techniques.

In the future, we plan to make a comparative study providing recommended sets of features/classifiers for animal identification, exploring sounds of several animal groups. Other enhancements might be related to audio segmentation to support scientists on long-duration recording analysis, and inclusion of techniques other than acoustic, such as semantic features.

6. Acknowledgements

Work partially financed by CNPq (132849/2015-1; 300896/2016-6; 305110/2016-0), FAPESP (2013/02219-0), FAPESP CCES (2013/08293-7), CNPq/INCT in Web Science (557128/2009-9) and FAPESP-PRONEX (eScience project).

References

- Aide, T. M., Corrada-Bravo, C., Campos-Cerqueira, M., Milan, C., Vega, G., and Alvarez, R. (2013). Real-time bioacoustics monitoring and automated species identification. *PeerJ*, 1:e103.
- Bardeli, R., Wolff, D., Kurth, F., Koch, M., Tauchert, K.-H., and Frommolt, K.-H. (2010). Detecting bird sounds in a complex acoustic environment and application to bioacoustic monitoring. *Pattern Recognition Letters*, 31:1524–1534.
- Frommolt, K.-H. and Tauchert, K.-H. (2014). Applying bioacoustic methods for long-term monitoring of a nocturnal wetland bird. *Ecological Informatics*, 21:4–12.
- Grosche, P., Müller, M., and Serrà, J. (2012). Audio content-based music retrieval. In *Multimodal Music Processing*, pages 157–174. Schloss Dagstuhl–Leibniz-Zentrum fuer Informatik.
- Hall, M., Frank, E., Holmes, G., Pfahringer, B., Reutemann, P., and Witten, I. H. (2009). The WEKA data mining software: An update. *ACM SIGKDD Explorations Newsletter*, 11:10–18.
- Köhler, J., Jansen, M., Rodríguez, A., Kok, P. J. R., Toledo, L. F., Emmrich, M., Glaw, F., Haddad, C. F. B., Rödel, M.-O., and Vences, M. (2017). The use of bioacoustics in anuran taxonomy: theory, terminology, methods and recommendations for best practice. *Zootaxa*, 4251(1):1–124.
- Liu, M. and Wan, C. (2001). A study on content-based classification and retrieval of audio database. In *International Symposium on Database Engineering and Applications*.
- McEnnis, D., McKay, C., Fujinaga, I., and Depalle, P. (2005). jAudio: A feature extraction library. In *International Conference on Music Information Retrieval*.
- Mitrovic, D., Zeppelzauer, M., and Breiteneder, C. (2010). Features for content-based audio retrieval. *Advances in Computers*, 78:71–150.
- Noda, J. J., Travieso, C. M., and Sánchez-Rodríguez, D. (2016). Methodology for automatic bioacoustic classification of anurans based on feature fusion. *Expert Systems With Applications*, 50:100–106.
- Schöner, M. G., Simon, R., and Schöner, C. R. (2016). Acoustic communication in plant–animal interactions. *Current Opinion in Plant Biology*, 32:88–95.
- Schuller, B. (2013). Audio features. In *Intelligent Audio Analysis*, pages 41–97. Springer Berlin Heidelberg.
- Sharan, R. V. and Moir, T. J. (2016). An overview of applications and advancements in automatic sound recognition. *Neurocomputing*, 200:22–34.
- Stowell, D. and Plumbley, M. D. (2014). Automatic large-scale classification of bird sounds is strongly improved by unsupervised feature learning. *PeerJ*, 2:e488.
- Xie, J., Towsey, M., Zhang, J., and Roe, P. (2016). Acoustic classification of Australian frogs based on enhanced features and machine learning algorithms. *Applied Acoustics*, 113:193–201.
- Yu, D. and Deng, L. (2015). *Automatic Speech Recognition: A Deep Learning Approach*. Springer-Verlag London.

Uma Estratégia para Versionamento dos Dados de *Workflows* Científicos Executados em Nuvem

Fabício Nogueira¹, Kary Ocaña², Vítor Silva³,
Vanessa Braganholo¹, Daniel de Oliveira¹

¹ Instituto de Informática – Universidade Federal Fluminense (UFF)

² Laboratório Nacional de Computação Científica (LNCC)

³ Programa de Engenharia de Sistemas e Computação – COPPE / UFRJ

{fnogueira, vanessa, danielcmo}@ic.uff.br, karyann@lncc.br, silva@cos.ufrj.br

Abstract. *Scientific experiments usually run hundreds or thousands of times, generating a huge amount of data that requires to be managed. Analyzing and comparing the results of such experiments is an extremely complex task. This becomes even more complex for workflows running in the cloud because the data is scattered across multiple virtual machines. In order to alleviate this problem, previous work proposed the use of a version control system to manage the data consumed and generated by scientific experiments. However, they add considerable overhead to the experiment, increasing the processing time and the use of disk space. In this article, we propose an alternative strategy to reduce time and space. Our initial experiments show that the time overhead of our approach is still high, but disk overhead was 5 times smaller than the approaches in the literature.*

1. Introdução

Workflows científicos têm se mostrado como uma das formas mais utilizadas para representação de experimentos *in silico* (Mattoso et al., 2010). A gerência desses *workflows* requer sistemas apropriados, que são denominados Sistemas de Gerência de *Workflows* Científicos (SGWfC) (Deelman et al., 2009). Muitos experimentos existentes possuem atividades de larga escala que são executadas diversas vezes e exigem alto poder computacional. De fato, cada experimento pode envolver diversas execuções ou re-execuções dos diferentes *workflows* variando os parâmetros e/ou dados de entrada. Verifica-se, com isso, a execução de *workflows* em ambientes de processamento de alto desempenho (PAD), como por exemplo as nuvens de computadores. Para apoiar execução de *workflows* nesses ambientes, alguns SGWfCs, como o SciCumulus (Oliveira et al., 2012) e o Pegasus (Deelman et al., 2015) têm sido desenvolvidos e evoluídos.

Os SGWfCs existentes não apoiam bem a análise dos resultados de várias execuções de um mesmo *workflow*, nem fazem a gerência da evolução dos dados de execuções de *workflows* científicos. Tal problema torna-se ainda mais complexo em certos ambientes de PAD, como as nuvens, onde a execução das atividades do *workflow* pode ser feita de maneira distribuída, em máquinas virtuais (VMs) e a localização e rastreamento dos dados podem se tornar ainda mais complexos.[§]

[§] Os autores gostariam de agradecer ao CNPq e a FAPERJ por financiarem parcialmente este trabalho.

Para exemplificar o problema, tomemos como exemplo o *workflow* SciPhy (Ocaña et al., 2011) (consistentemente usado em todo o artigo). O *workflow* SciPhy realiza análises filogenéticas de sequências de DNA, RNA e aminoácidos e é constituído por cinco atividades (Figura 1.a). A primeira atividade realiza um pré-processamento dos dados de entrada (arquivo multi-*fasta* contendo as sequências), a segunda alinha as sequências dadas como entrada utilizando programas tradicionais como o *mafft*, a terceira atividade converte o alinhamento gerado para o padrão *phylip* com o programa *readseq*, a quarta atividade escolhe o melhor modelo evolutivo a ser usado com o programa *modelgenerator* e finalmente a quinta atividade cria as árvores filogenéticas utilizando o programa *RaxML*. Tradicionalmente o SciPhy é executado centenas ou milhares de vezes em um mesmo experimento (varredura de parâmetros), recebendo como entrada um *dataset* de arquivos multi-*fasta*. Em uma mesma execução do SciPhy, um arquivo multi-*fasta* é modificado em diversas atividades (nas atividades 1, 2 e 3) e conhecer todas as transformações e versões desse arquivo pode ser importante para analisar o comportamento do experimento como um todo. Dessa forma, caso as versões dos dados não sejam gerenciadas, pode se tornar complexo compreender *a posteriori* quais foram as transformações de dados que ocorreram. Além disso, como o SciPhy é executado n vezes, o cientista precisa ser capaz de comparar as n execuções do *workflow*. Sem um ferramental de apoio apropriado, essa comparação é inviável.

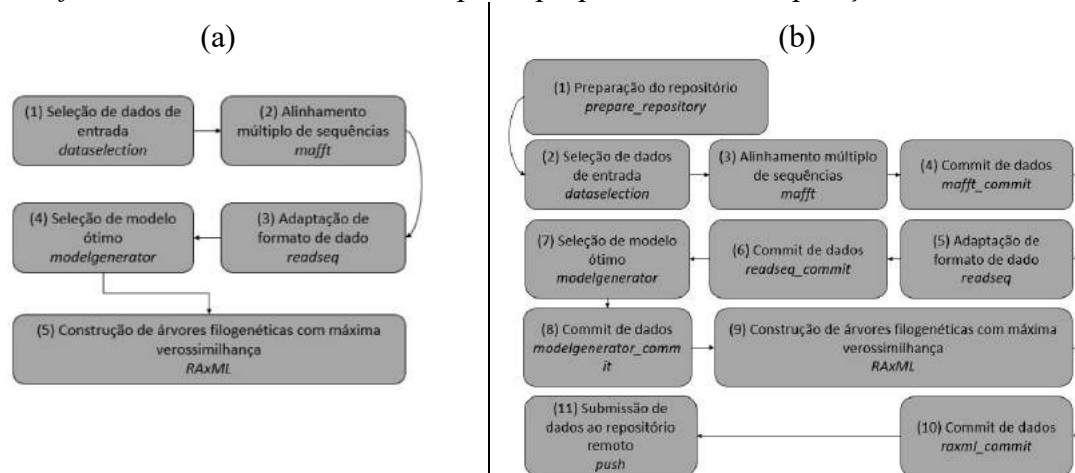


Figura 1. (a) Workflow SciPhy original. (b) Workflow SciPhy com atividades de versionamento de dados.

Uma maneira de manter a rastreabilidade das modificações sofridas pelos dados durante execuções de *workflows* científicos é o uso de técnicas de versionamento já aplicadas largamente na área de Gerência de Configuração de *Software* (GCS). Alguns trabalhos (Callahan et al., 2006; Costa et al., 2009; Ogasawara et al., 2009) propõem abordagens de versionamento da estrutura de *workflows* científicos, porém, não tratam de seus dados. Mesmo os trabalhos que consideram os dados (Neves et al., 2013; Oliveira et al., 2014) podem ser considerados incipientes uma vez que ainda podem ser otimizados, já que geram uma considerável sobrecarga de tempo de execução do *workflow* e de uso de espaço em disco. Assim, abordagens mais eficientes em termos de tempo e espaço se fazem necessárias para solucionar o problema.

A hipótese principal desse artigo é que a manutenção e o versionamento dos dados são fundamentais para o processo de análise e validação dos resultados de um experimento. Além disso, o versionamento ainda pode auxiliar no compartilhamento e

na reprodutibilidade dos experimentos, uma vez que repositórios versionados podem ser facilmente compartilhados entre diferentes usuários. Dessa forma, esse artigo apresenta uma estratégia de versionamento de dados de *workflows* científicos em um ambiente de nuvem computacional. Considerando-se que o processo de composição de workflows científico compartilha muitas características com o desenvolvimento de software, utilizou-se as técnicas de versionamento propostas pela disciplina de gerência de configuração da engenharia de software. A abordagem proposta objetiva promover rastreabilidade aos dados gerados por diversas execuções paralelas e concorrentes de um mesmo *workflow* em um ambiente de nuvem de computadores, como a Amazon EC2, diminuindo a sobrecarga de tempo e espaço das abordagens atuais (Neves et al., 2013; Oliveira et al., 2014). Como prova de conceito, a estratégia proposta foi implementada no SGWfC baseado em nuvem SciCumulus.

Este artigo está organizado em 5 seções, além desta introdução. A Seção 2 apresenta conceitos de gerência de configuração, necessários ao entendimento da abordagem proposta. A Seção 3 detalha a estratégia de versionamento proposta. A Seção 4 apresenta uma avaliação experimental da abordagem proposta. A Seção 5 discute trabalhos relacionados, e, finalmente, a Seção 6 conclui o artigo.

2. Referencial Teórico

A necessidade de versionamento surgiu na indústria de *software*, principalmente em grandes projetos, onde se fazia necessário registrar a inclusão, modificação ou exclusão de código e funcionalidades. Dessa forma, foram propostos diversos sistemas de controle de versões (SCV) para solucionar tal problema. Existem diversos sistemas como o CVS, o SVN e o Git. Nesse trabalho optamos por utilizar o Git como SCV uma vez que o mesmo é um SCV distribuído que permite que vários usuários trabalhem de forma independente e sincronizem seus trabalhos *a posteriori*, o que se assemelha bastante ao comportamento de um *workflow* executado na nuvem.

No Git existem alguns conceitos importantes que devem ser analisados. O primeiro é o conceito de repositório. Um repositório é um local de armazenamento de dados que podem ser armazenados e recuperados. Um repositório contém arquivos diversos cujas versões são gerenciadas pelo Git. O repositório reflete a história do projeto, contendo todas as versões até a mais recente (HEAD). Quando um usuário executa uma operação de *commit*, o repositório é atualizado com as modificações daquele *commit*, *i.e.* novas versões de arquivos podem ser criadas, caso modificações tenham sido realizadas. O Git possui o conceito de repositório remoto e local. No Git, o repositório local é acessado somente por um usuário e se localiza na própria máquina do usuário (no nosso caso, na(s) máquina(s) em que o *workflow* estiver executando). Já os repositórios remotos são versões do projeto (no nosso caso, da execução do *workflow*) que estão hospedados em nós de uma rede (local ou na Internet). Outro conceito importante é o de ramo no repositório (*branch*). Um ramo funciona como um *snapshot* do projeto, *i.e.* ele é uma cópia do projeto em que o usuário pode trabalhar de forma isolada. Ao fim do trabalho o usuário pode realizar um *merge* de ramos. Uma vez terminado o trabalho, o usuário pode realizar um *push* do seu repositório local para o repositório remoto. É importante observar que antes de submeter as modificações do repositório local ao repositório remoto (*push*) é necessário que haja a sincronização de ambos os repositórios, ou seja, as possíveis novas modificações existentes no repositório remoto sejam trazidas ao repositório local. Tal sincronização é realizada

através do comando *pull* do Git. A ideia desse trabalho é acoplar o SCV Git a um SGWfC de forma a prover o versionamento de dados em um *workflow*.

3. A Estratégia de Versionamento de Dados Proposta

Inspirado em trabalhos anteriores (Neves et al., 2013; Oliveira et al., 2014), a estratégia de versionamento proposta nesse artigo considera que, apesar dos dados serem gerados em VMs diferentes (uma vez que o *workflow* possui atividades executando em paralelo em múltiplas VMs) no ambiente de nuvem computacional, os mesmos devem ser armazenados em um repositório de versionamento comum a todo o *workflow*. Para isso, considerou-se que, além das atividades relacionadas à invocação de programas científicos (as atividades originais do *workflow*), a modelagem do *workflow* deve incluir as atividades relacionadas ao processo de versionamento, *i.e.* o *workflow* deve ser instrumentado. Assim, novas atividades devem ser dispostas após cada atividade original do *workflow*, de forma que os dados gerados pelos programas científicos sejam, logo em sequência, adicionados ao repositório de versionamento.

Como mencionado anteriormente, utilizamos o *workflow* SciPhy (Ocaña et al., 2011) como estudo de caso nesse artigo. O *workflow* foi modificado para incluir as atividades relacionadas ao processo de versionamento dos dados consumidos e produzidos. A Figura 1.a apresenta o *workflow* SciPhy original e sua nova representação após adição das atividades de versionamento. Na Figura 1.b, o mesmo *workflow* SciPhy é apresentado com as atividades adicionais relacionadas ao versionamento de dados (atividades 1, 4, 6, 8 e 11). A atividade 1 (Figura 1.b) cria um repositório local a partir de um repositório remoto já criado anteriormente (*clone*). As atividades de *commit* (4, 6, 8 e 10) adicionam os arquivos gerados na VM por cada uma das atividades anteriores no repositório local. É importante ressaltar que cada uma das VMs envolvidas na execução do *workflow* possui um repositório local independente. Por fim, a atividade 11 submete todos os arquivos do repositório local ao repositório remoto. É importante atentar para o fato de que todas as atividades do *workflow* SciPhy adaptado (Figura 1.b) executam em cada uma das VMs alocadas à execução do *workflow* na nuvem. Porém, a atividade de submissão de dados ao repositório remoto deve ser realizada de maneira sincronizada uma vez que todas as VMs que executam o *workflow* fazem referência a um mesmo repositório remoto, *i.e.* deve ser garantido que cada repositório local se encontre sincronizado com o repositório remoto antes da submissão dos arquivos (operação de *push*). Para lidar com essa questão, a estratégia proposta utilizou duas abordagens de versionamento, descritas a seguir.

A1. Um ramo por execução: Cada execução do *workflow* na nuvem cria um ramo (*branch*) no repositório. Os dados produzidos pelas atividades do *workflow* executando em diferentes VMs são armazenados em um repositório local na VM. Ao término da execução do *workflow* em todas as instâncias, cada VM submete (*push*) os dados do repositório local para o repositório remoto. O *push* deve ser realizado sequencialmente em cada uma das VMs alocadas ao *workflow* na nuvem. Isso é necessário para que cada repositório local possa ser sincronizado com o repositório remoto a fim de evitar concorrências de submissão pelas VMs que executam atividades em paralelo.

A2. Um repositório por execução: possibilita o *push* dos dados de maneira paralela pelas diferentes VMs. Para isso, cada VM faz uso de um ramo próprio para os dados no repositório. Ao final da execução do *workflow*, os dados gerados em cada VM se

encontram nos seus respectivos ramos e o repositório remoto faz referência àquela execução do *workflow*. Um novo repositório é criado para cada nova execução.

Ambas as abordagens apresentam vantagens e desvantagens. Em A1, a vantagem é a existência de um único repositório por *workflow*. Cada execução do *workflow* gera um ramo no repositório. A desvantagem é a necessidade de um passo sequencial (não paralelizável) em todas as VMs. O passo sequencial está associado à execução do *push* dos repositórios locais ao repositório remoto. Em A2, a vantagem é que cada VM realiza a submissão para o repositório remoto sem necessitar aguardar o *status* das demais VMs. Isso é possível porque as VMs possuem ramos exclusivos no repositório remoto. Em contrapartida, o repositório se torna exclusivo para uma execução do *workflow*. Havendo a necessidade de novas execuções, outros repositórios deverão ser criados, o que pode gerar sobrecarga tanto de espaço quanto na gerência dos repositórios, além de dificultar a etapa de análise quando se deseja comparar resultados de execuções de vários *workflows*.

As duas abordagens impõem certa sobrecarga à execução do *workflow* uma vez que novas atividades para acoplamento com o SCV são executadas. A estratégia aqui apresentada é uma evolução do trabalho de Neves *et al.* (2017) que apresenta o versionamento de dados também utilizando repositórios locais e remotos. Para conferir um versionamento de dados em maior ou menor grão, Neves *et al.* (2017) propõe estratégias que consideram: (i) a criação de um único repositório local para o *workflow* gerando ramos a cada execução do mesmo e (ii) a criação de repositórios locais para cada atividade do *workflow* gerando ramos por execução do *workflow* ou da atividade. As duas abordagens propostas neste trabalho diferenciam-se das abordagens propostas em Neves *et al.* (2017) por utilizarem repositórios locais por VMs alocadas ao *workflow* executando na nuvem e não por atividade do *workflow*, o que faz com que sejam necessários menos repositórios. Além disso, as atividades do *workflow* que são executadas numa mesma VM são capazes de compartilhar um mesmo repositório local.

4. Análise de Desempenho da Proposta

O acoplamento do SGWfC com o SCV impõe que o *workflow* seja instrumentado com novas atividades como apresentado na Seção 3. Para cada abordagem proposta, analisamos a sobrecarga de tempo de execução que as novas atividades geram na execução do *workflow* bem como o espaço em disco adicional necessário. Para melhor entendimento dos testes realizados para avaliação de desempenho, consideramos: (i) T_{A1} e T_{A2} , como sendo os tempos de execução das abordagens A1 e A2 respectivamente; (ii) T_x , como sendo o tempo de execução do *workflow* na VM x da nuvem sem a atividade *push*; (iii) T_{Px} , como sendo o tempo de execução da atividade *push* na VM x da nuvem; e (iv) T_{Cx} , como sendo o tempo de execução de todas as atividades (incluindo *push*) do *workflow* na VM x da nuvem. A partir de tais definições, estabelecemos que o tempo de execução da abordagem de um ramo por execução é:

$$T_{A1} = \max\{T_1, T_2, \dots, T_n\} + \sum_{i=1}^n T_{Pi}$$

Já a abordagem de um repositório por execução que não necessita de execução sequencial tem seu tempo de execução calculado da seguinte forma:

$$T_{A2} = \max\{T_{C1}, T_{C2}, \dots, T_{Cn}\}$$

Para mensurar o tempo de execução das duas abordagens planejou-se um experimento que consistiu em executar o *workflow* SciPhy com o SciCumulus acoplado ao Git na nuvem da Amazon EC2. Para o experimento, foram alocadas 3 VMs EC2 de baixo custo (t1.micro) de 64 bits com uma CPU de 3,3 GHz, 1 GB de RAM e aproximadamente 700 MB de armazenamento em disco. Essas 3 VMs são responsáveis pela execução das atividades do *workflow*. Além delas, foi alocada um *bucket* no Amazon S3 para o armazenamento compartilhado dos dados de saída das atividades do *workflow*. O uso desses dois tipos de recursos (EC2 e S3) é requisito padrão dos SGWfCs SciCumulus e Pegasus, que são capazes de executar na nuvem da Amazon.

Após o levantamento dos recursos necessários na nuvem, foi realizada a medição de tempo de execução do *workflow* SciPhy original, sem as atividades de versionamento dos dados. Isso foi necessário para se ter uma medida de controle (*baseline*) e comparar com os tempos da proposta com versionamento. A medição de tempo foi realizada executando-se o SciPhy por 5 vezes e calculando-se a média aritmética de tais execuções. A mesma estratégia de medição de tempo foi feita para a execução do *workflow* SciPhy adaptado com versionamento, ou seja, cada abordagem (A1 e A2) foi executada 5 vezes obtendo-se em seguida a média aritmética dessas execuções. A Figura 2 apresenta a comparação de tempo das execuções do SciPhy.

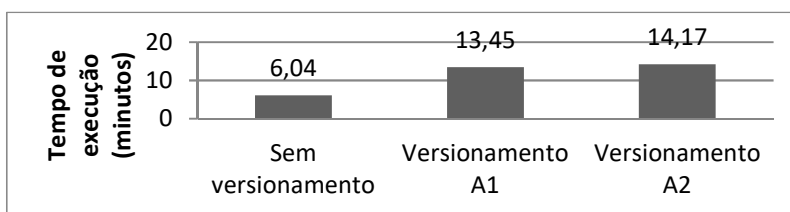


Figura 2. Comparação dos tempos de execução do *workflow* SciPhy original com as duas abordagens de versionamento propostas

As duas abordagens que usam versionamento resultaram em um tempo aproximadamente duas vezes maior que o tempo de execução do *workflow* SciPhy original. Isso pode ser explicado pelo fato da operação de versionamento (*commit*) ser executada logo após cada atividade do *workflow* SciPhy e a operação de versionamento (*push*) ser executada ao término de todas as atividades. Como o *workflow* original apresenta poucas atividades, o impacto dessas atividades de versionamento no *workflow* é considerável. Considerando-se um *workflow* com maior número de atividades, a sobrecarga das atividades de versionamento seria diluída e conseqüentemente o tempo adicional imposto sobre o tempo total de execução do *workflow* será menor. Pode-se observar pela Figura 2 que as abordagens A1 e A2 apresentaram um tempo de execução muito próximos. Como nas duas abordagens, as atividades de versionamento (*commit*) são executadas da mesma forma e a atividade *push* é executada de forma sequencial no versionamento A1 e de forma paralela no versionamento A2, a proximidade dos tempos de execução pode ser explicada pelo fato de que em A1 a fila de realização da atividade *push* vai sendo formada à medida que a execução do *workflow* é finalizada em cada instância. Após o término da execução do *workflow* em todas as instâncias, a fila de *push* é executada. Além disso, percebe-se que a atividade *push* impõe pouca influência à execução do *workflow*. Comparando-se os resultados de sobrecarga de tempo de execução imposta ao *workflow* com os resultados de Neves *et al.* (2017), verifica-se que as abordagens aqui propostas possuem um comportamento similar às verificadas no

referido trabalho. No trabalho de Neves *et al.* (2017) algumas atividades do mesmo *workflow* SciPhy tiveram o tempo de execução aumentado em até 7 vezes devido às atividades extras de versionamento. Nas medições feitas para o tempo do *workflow* como um todo, Neves *et al.* (2017) relata que a sobrecarga de tempo fica em média 26% superior em relação à versão sem versionamento.

Quanto à sobrecarga de uso de disco, cada VM cria um repositório local e nele adiciona os arquivos gerados. Logo, o uso de disco é dobrado uma vez que os arquivos estarão armazenados no *bucket* S3 e também nas VMs EC2, sendo que os dados da VM EC2 são somente os gerados pela própria, enquanto que na S3 são os gerados por todas as VMs envolvidas na execução. Para verificar esse comportamento, analisou-se o tamanho do conjunto de dados gerado pelas execuções do *workflow* e que foram armazenados no *bucket* S3. Esse conjunto de dados, para cada execução do *workflow*, ocupava aproximadamente 870 KB de disco. Em seguida, para cada execução, analisou-se também o conjunto de dados que foi armazenado no repositório local Git das instâncias VM EC2. O tamanho desse conjunto de dados ficou em aproximadamente 290 KB. Isso corrobora a característica de que o uso de disco é dobrado devido à geração dos repositórios de versionamento locais. No trabalho de Neves *et al.* (2017), observa-se que durante a execução do *workflow* o uso de disco chega a ser mais de 10 vezes superior em relação à execução sem versionamento. Esse comportamento ocorre principalmente por causa da replicação de dados de entrada de todas as atividades do *workflow* na nuvem. Tal comportamento já não é observado nas duas abordagens propostas neste artigo uma vez que o número de repositórios locais é reduzido, já que são definidos para as instâncias do *workflow* e não para as atividades, o que reduz consideravelmente as replicações. Pode-se concluir que, apesar do tempo de execução para o *workflow* como um todo ter sido superior à abordagem proposta por Neves (2017), a sobrecarga de disco foi consideravelmente inferior. Isso abre oportunidades para que otimizações sejam feitas para redução da sobrecarga de tempo de execução.

5. Trabalhos Relacionados

Existem trabalhos que propõem controle de versão no contexto de *workflows* científicos (Callahan et al., 2006; Costa et al., 2009; Koop et al., 2010; Neves et al., 2013; Ogasawara et al., 2009). Alguns desses trabalhos propõem o uso de versionamento para controlar alterações e adaptações que a estrutura de um *workflow* pode sofrer dentro de um mesmo experimento (Callahan et al., 2006; Costa et al., 2009; Ogasawara et al., 2009). Poucos trabalhos têm considerado o uso dessa técnica para os dados gerados nas execuções de *workflows* científicos (Koop et al., 2010; Neves et al., 2017). No ambiente de computação em nuvem, os dados são gerados em VMs independentes na nuvem. Nesse caso, é importante que, apesar de estarem em locais de armazenamento diferentes, os dados possam ser armazenados em um repositório de versionamento comum à execução do *workflow*. O trabalho de Neves *et al.* (2017) e Oliveira *et al.* (2014) utiliza SCV para armazenar os dados gerados pela execução das atividades do *workflow* científico na nuvem de maneira similar às abordagens propostas neste trabalho. A diferença entre os dois trabalhos se dá pela forma com que os repositórios locais são criados. Este trabalho considera a criação de um repositório local por VM da nuvem. Tal repositório é compartilhado por todas as atividades executadas na mesma VM. Neves *et al.* (2017) considera a criação de um repositório local por atividade do *workflow*, que possibilita o versionamento de dados em um menor grão. O trabalho de

Koop *et al.* (2010) propõe uma infraestrutura que alia informações de proveniência com a gerência de versões nos dados de maneira similar a um SCV, porém não considera o versionamento dos dados num contexto de um ambiente de nuvem computacional.

6. Conclusão e Trabalhos Futuros

A estratégia de versionamento proposta neste artigo facilita a análise e por consequência a reprodutibilidade de um experimento *in silico*. Isso é possível pelo fato dos dados gerados durante a execução do *workflow* que modela o experimento estarem disponíveis em um repositório de versionamento central e associados à execução do *workflow*. Além disso, essa proposta também facilita análise do relacionamento de dados de diferentes execuções, algo que pode ser bastante complexo sem o apoio de um ferramental adequado.

A instrumentação do *workflow* e a adição de atividades extras para controlar versão impôs uma sobrecarga na execução do *workflow* tanto relacionada ao tempo de execução quanto ao uso de disco. Porém, tais sobrecargas podem ser consideradas aceitáveis, visto que trazem um benefício de análise e reprodutibilidade ao *workflow*. Além disso, a inclusão de atividades de versionamento foi feita de maneira manual e impõe trabalho extra ao processo de definição do *workflow*. No futuro, pretendemos criar adaptadores automáticos para realizar essa tarefa de adaptação. O sistema de controle de versão utilizado, o Git, possui algumas otimizações como o uso de *hardlinks* que ainda podem ser explorados a fim de evitar a cópia de arquivos para o repositório local reduzindo a sobrecarga de uso de disco que a estratégia proposta apresentou.

7. Referências

- Callahan, S.P., Freire, J., Santos, E., Scheidegger, C.E., Silva, C.T., Vo, H.T., 2006. VisTrails: visualization meets data management, in: SIGMOD, pp. 745–747.
- Costa, B., Ogasawara, E., Murta, L., Mattoso, M., 2009. Uma Estratégia de Versionamento de Workflows Científicos em Granularidade Fina. In: e-Science Workshop, pp. 49–56.
- Deelman, E., Gannon, D., Shields, M., Taylor, I., 2009. Workflows and e-Science: An overview of workflow system features and capabilities. FGCS 25, 528–540.
- Deelman, E., Vahi, K., Juve, G., Rynge, M., Callaghan, S., Maechling, P.J., Mayani, R., Chen, W., Ferreira da Silva, R., Livny, M., Wenger, K., 2015. Pegasus, a workflow management system for science automation. FGCS 46, 17–35.
- Koop, D., Santos, E., Bauer, B., Troyer, M., Freire, J., Silva, C.T., 2010. Bridging Workflow and Data Provenance Using Strong Links, in: SSDBM, pp. 397–415.
- Mattoso, M., Werner, C., Travassos, G.H., Braganholo, V., Ogasawara, E., Oliveira, D., Cruz, S., Martinho, W., Murta, L., 2010. Towards supporting the life cycle of large scale scientific experiments. Int. J. Bus. Process Integr. Manag. 5, 79–92.
- Neves, V., de Oliveira, D., Ocaña, K., Braganholo, V., Murta, L., 2017. Managing Provenance of Implicit Data Flows in Scientific Experiments. ACM Trans. Internet Technol. to appear.
- Neves, V.C., Braganholo, V., Murta, L., 2013. Implicit Provenance Gathering through Configuration Management, in: SE-CSE, pp. 92–95.
- Ocaña, K., Oliveira, D. de, Ogasawara, E., Dávila, A., Lima, A., Mattoso, M., 2011. SciPhy: A Cloud-Based Workflow for Phylogenetic Analysis of Drug Targets in Protozoan Genomes, in: Advances in Bioinformatics and Computational Biology, Lecture Notes in Computer Science. Springer, pp. 66–70.
- Ogasawara, E., Rangel, P., Murta, L., Werner, C., Mattoso, M., 2009. Comparison and versioning of scientific workflows, in: CVSM, pp. 25–30.
- Oliveira, D. de, Ocaña, K.A.C.S., Baião, F., Mattoso, M., 2012. A Provenance-based Adaptive Scheduling Heuristic for Parallel Scientific Workflows in Clouds. J. Grid Comput. 10, 521–552.
- Oliveira, W., Neves, V.C., Ocaña, K., Murta, L., Oliveira, D., Braganholo, V., 2014. Captura e Consulta a Dados de Proveniência Retrospectiva Implícita Intra-Atividade, in: SBBD, pp. 37–46.

Uma Proposta de Implementação de Álgebra de Workflows em Apache Spark no Apoio a Processos de Análise de Dados

João Ferreira¹, Daniel Gaspar², Bernardo Monteiro¹, Ana Beatriz Cruz¹,
Fabio Porto², Eduardo Ogasawara¹

¹ CEFET/RJ

²LNCC - DEXL Lab

joao.parana@acm.org, gaspar@lncc.br

anacruz@acm.org, fporto@lncc.br, eogasawara@ieee.org

Abstract. *The typical activity of a Data Scientist involves the implementation of various processes that characterize data analysis experiments. In these analyzes there is a need to execute several codes in different programming languages (Python, R, C, Java, and Scala) in different parallel and distributed processing environments. Depending on the complexity of the process and the numerous possibilities for distributed execution of these solutions, it may be necessary to spend a lot of energy on different implementations that take the Data Scientist away from his ultimate goal of producing knowledge from large volumes of data. In this context, this paper aims to support this difficulty by proposing the construction of a framework conceived from an algebraic approach that isolates the process modeling from the difficulty of optimally executing such workflows. The proposal presents a typical Extract Transform Load (ETL) workflow for performing data analysis and points to promising results in terms of representation and abstraction/isolation potential of the execution environment.*

Resumo. *A atividade típica de um Cientista de Dados envolve a implementação de diversos processos que caracterizam experimentos de análise de dados. Nessas análises há a necessidade de executar diversos códigos em diferentes linguagens de programação (Python, R, C, Java e Scala) em diferentes ambientes de processamento paralelo e distribuído. Dependendo da complexidade do processo e das inúmeras possibilidades para execução distribuída destas soluções, pode ser necessário gastar muito energia em diferentes implementações que afastam o Cientista de Dados do seu objetivo final, que é produzir conhecimento a partir dos grandes volumes de dados. Dentro deste contexto, este trabalho visa apoiar na solução de tal dificuldade ao propor a construção de um framework concebido a partir de uma abordagem algébrica que isola a modelagem do processo da dificuldade de executar, de modo otimizado, tais workflows. A proposta apresenta um workflow típico de Extract Transform Load (ETL) para realização de análise de dados e aponta para resultados promissores em termos de representação e potencial de abstração/isolamento do ambiente de execução.*

1. Introdução

A atividade típica de um Cientista de Dados envolve a implementação de diversos processos que caracterizam experimentos de análise de dados. Tais experimentos dão origem a

workflows que possuem características empíricas e necessitam garantir reprodutibilidade. Em diversas situações, usar sistemas de gerência de workflows (SGW) é uma escolha natural para apoiar experimentos datacêtricos. Muitos trabalhos e implementações de SGW têm sido propostos e avaliadas [Liu et al., 2015].

Em contrapartida, no cenário de processamento de alto desempenho para *Big Data*, têm-se soluções baseadas no ecossistema *Spark/Hadoop* capazes de processar alto volume de dados em ambientes distribuídos [Salloum et al., 2016]. Este ecossistema de software, no entanto, impõe algumas limitações: *i*) a programação em linguagem procedural imperativa; *ii*) a falta de um mecanismo de gestão de proveniência sobrecarrega o cientista de dados com a necessidade de resolver problemas relacionados a infraestrutura de hardware e software para garantir uma correta coleta de dados da proveniência; *iii*) ausência de primitivas para apoiar cenários típicos de análise de dados como varredura de parâmetros, por exemplo. Em outras palavras, tais soluções compreendem um conjunto de APIs que viabiliza aos usuários na execução de tarefas paralelizáveis de forma distribuída, mas que não cobrem as funcionalidades gerais de SGWs.

Ademais, tem-se a disposição milhares de pacotes de softwares científicos e de engenharia desenvolvidos ao longo de anos de pesquisa tais como CRAN [2017] que possui mais de dez mil pacotes de software escritos em R e bibliotecas como SciPy [2017] em Python que disponibilizam centenas de pacotes completos para cientistas de todas as áreas de conhecimento. Tais bibliotecas são comumente usadas diretamente pelos Cientistas de Dados, estabelecendo cenários típicos de códigos legados a serem invocados nos workflows.

A proposta desse trabalho combina as características presentes na linguagem Scala com as funcionalidades do ecossistema *Spark/Hadoop* para desenvolver um *framework*, usando inversão de controle [Fayad and Schmidt, 1997], capaz de prover uma solução semelhante aos SGW, codificada de modo simples e, ao mesmo tempo, capaz de executar de modo eficiente. Em participar, a otimização das execuções de atividades em ambientes distribuídos que respeite, ao mesmo tempo, as características intrínsecas desses workflows com a grande presença de aplicações consoles e de bibliotecas e códigos legados escritos em Python e R.

Além desta introdução, o trabalho está organizado em mais cinco seções. Na seção 2, são apresentados conceitos gerais de workflow e as iniciativas de pesquisa nesta área. Em seguida, na seção 3, apresentam-se as características mais relevantes do *Spark* e seu ecossistema. Estes conceitos servem de base para o projeto do framework usando álgebra de workflows [Ogasawara et al., 2011], denominado de *Workflow Framework*, descritos na seção 4. A seção 5 discute a implementação da proposta por meio da descrição de um workflow de *ETL* (do inglês, *Extract Transform Load*) para aplicações em mobilidade urbana. Finalmente, a seção 6 apresenta as considerações finais.

2. Workflows Datacêtricos

Um workflow geralmente se refere ao processo de execução tanto de tarefas automatizadas, quanto manuais (com interação humana), integradas num mesmo fluxo, o qual tem por objetivo a produção de um determinado resultado [Van Der Aalst et al., 2003]. Em função da complexidade de tal execução, torna-se necessário gerenciá-la por meio de SGW. Os SGWs necessitam de linguagens de especificação de workflows, as quais

podem ser: (i) gráficas (normalmente associadas a grafos ou redes de Petri); (ii) baseadas em XML (XPDL etc); ou (iii) baseadas linguagens de especificação próprias *plain-text* [Deelman et al., 2009]. Em uma visão mais datacêntrica, um workflow é composto de atividades onde cada uma delas é um componente de software capaz de executar programas considerando parâmetros de entrada e de saída [Ogasawara et al., 2011]. Tais parâmetros são usados para definir as dependências entre as atividades de um workflow.

Diversos cenários de análise de dados podem ser modelados como grafos acíclicos direcionados (DAG). Em particular, também, são muito comuns problemas que recaem em varredura de parâmetros, *i.e.*, as análises devem ser executadas com vários conjuntos de parâmetros diferentes para que se possa escolher o melhor resultado. Isso vem da característica empírica dos experimentos científicos *in-silico*. Por exemplo, num experimento de mineração de dados, para treinar modelos de classificação é necessário executar vários algoritmos diferentes com vários parâmetros diferentes para encontrar o modelo que apresenta melhor comportamento para um dado problema específico. Desta forma, mecanismos que otimizem a produção e consumo de resultados intermediários e otimize quais atividades devem ser executadas antes e quais delas devem ser executadas de modo agrupado (*pipeline*) passam a ser muito relevantes. As abordagens algébricas [Jergler et al., 2015; Rheinländer et al., 2015; Ogasawara et al., 2011] procuram otimizar a execução dos workflows, levando-se em consideração o contexto de execução, os dados com os seus respectivos metadados e as informações de proveniência.

3. Spark e o Ecossistema Hadoop

Salloum et al. [2016] descrevem os cenários atuais de BigData e as funcionalidades mais relevantes do *Spark* que proveem desempenho no processamento e gerência de dados no ecossistema *Hadoop*, incluindo integração com o sistema de arquivos *HDFS*. O *Spark* é um framework que possibilita a execução das tarefas paralelizáveis de forma distribuída em máquinas multi-core ou clusters YARN/Mesos, com ênfase no processamento em *pipeline* de atividades, com alocação de arquivos intermediários primordialmente em memória. Códigos podem ser escritos em uma das linguagens para as quais o framework oferece sua API, incluindo: Scala, Java, Python e R. O framework possui arquitetura modular que permite a inclusão de componentes adicionais, tais como: Spark SQL, GraphX, Spark MLlib e Spark Streaming. Finalmente, o armazenamento de arquivos intermediários em memória faz com que a execução ocorra dezenas ou até centenas de vezes mais rápida que uma implementação equivalente em Apache *Hadoop*.

O *Spark* é constituído por cinco componentes principais, dos quais podem-se destacar: *Spark Core* e o *Spark SQL*. O *Spark Core* implementa a base do mecanismo de execução de tarefas, separando as *transformações* das *ações* sobre os *Resilient Distributed Datasets* (RDD) [Zaharia et al., 2012] e, mais recentemente, sobre os *dataframes*. As operações de *transformação* são de avaliação tardia e podem ser invocadas várias vezes antes que uma *ação* seja executada. Tal abordagem permite que o *Spark* escolha a melhor forma de executar as transformações considerando a quantidade de memória, os dados de localidade, o número de computadores no cluster, o número de cores nos processadores e as otimizações de código por meio do *Catalyst* [Armbrust et al., 2015]. Já o *Spark SQL* faz também uso do *Catalyst* para otimizar geração de código em tempo de execução à partir de expressões e comandos SQL. O *Spark SQL* permite acesso a datasets usando uma interface baseada em álgebra relacional [Armbrust et al., 2015]. Trata-se de um módulo para

processamento de dados estruturados. As interfaces do *Spark SQL* fornecem informações adicionais sobre a estrutura dos dados e a computação que está sendo executado. Com o *Spark SQL*, pode-se fazer uso, no mesmo programa, da linguagem SQL declarativa e APIs de acesso a dados em *DataFrame/Dataset* de modo imperativo/procedural.

4. Proposta do Workflow Framework W_fF

Esta seção descreve a proposta do framework W_fF . O diagrama UML conceitual da Figura 1.a apresenta a arquitetura do W_fF na perspectiva da execução de um workflow e suas ligações com a proveniência retrospectiva [Freire et al., 2008]. A arquitetura pode ser resumida por meio de suas nove classes principais que implementam os principais conceitos da álgebra de workflows [Ogasawara et al., 2011].

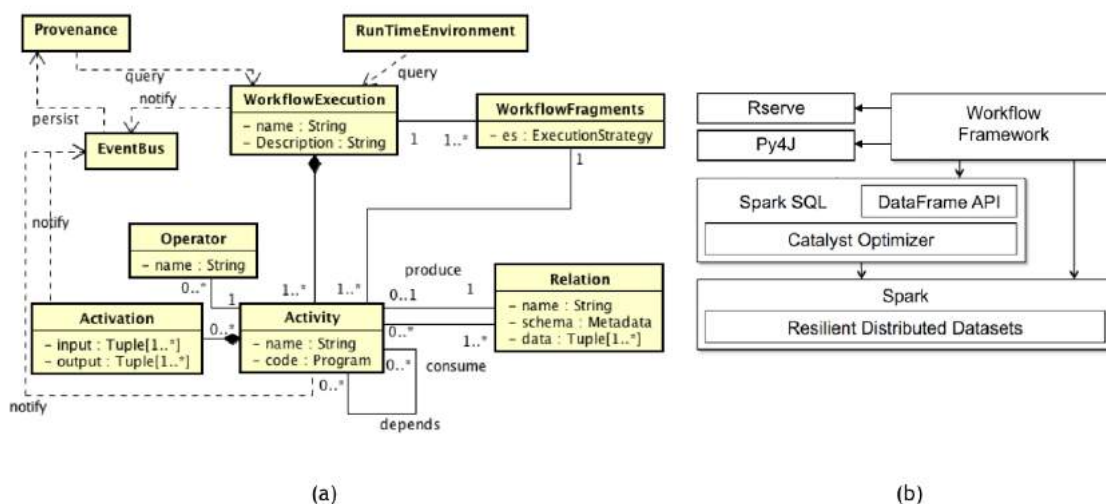


Figura 1. Diagrama UML conceitual descrevendo os componentes

A classe *WorkflowExecution* representa a execução de um workflow. O workflow é composto de atividades (*Activity*) que apresentam um programa (*Program*) associado. Cada atividade tem associada relações (*Relation*) de entradas e saída. A relação apresenta nome, esquema e os dados, propriamente ditos, representados por um conjunto de tuplas (*Tuple*). Além disto, as atividades têm um operador (*Operator*) da álgebra de workflows associado. O operador rege como a atividade deve consumir e produzir tuplas durante a sua execução por meio das ativações (*Activation*). Cada ativação consome um conjunto de tuplas e produz um conjunto de tuplas. Quando todas as ativações de uma atividade são processadas, tem-se a formação completa da relação de saída da atividade. A relação de produção e consumo das atividades produz uma dependência entre elas.

O W_fF está sendo projetado e escrito para funcionamento na linguagem Scala. Tal escolha visa a uma integração nativa com o *Spark* e seu componente de otimização (*Catalyst*). A classe *RuntimeEnvironment* abstrai o tipo de tecnologia a ser usada na execução do workflow. Ademais, em termos de apoio a execução de Programas, como o foco são workflows de análise de dados, além da execução de aplicações console, há também especializações específicas para execuções de atividades escritas em R e Python. A partir das características de projeto, pode-se apresentar com maior clareza os aspectos relacionados a otimização para execução do workflow.

Na arquitetura proposta, as relações, por exemplo, são especializações de *Dataset* do *Spark*. Elas podem tanto permanecer em memória *RAM* usando o cache do *Spark* ou serem materializadas. Como a linguagem *Scala* viabiliza métodos que sejam transformações (ver seção 3), as relações, são processadas em avaliação tardia. Tal característica viabiliza que o código seja otimizado de modo análogo ao processo de otimização de consultas em banco de dados.

Usando as informações de proveniência [Simmhan et al., 2005] de execuções anteriores, as informações do ambiente de execução (*RunTimeEnvironment*) e as próprias características intrínsecas das atividades, tem-se um processo de otimização que produz fragmentos de workflows (*WorkflowFragment*). Assim, no modelo proposto, cada fragmento de workflow é composto de um conjunto atividades. Os fragmentos têm um modelo de execução estabelecido (FAF ou FTF [Ogasawara et al., 2011]). Cada fragmento de workflow encapsula chamadas em *Spark* (Figura 1.b). As ativações, por consequência, são instanciadas e agrupadas segundo a estratégia execução associada aos seus respectivos fragmentos de workflow. Apenas as relações finais de cada fragmento de workflow são materializadas e têm as suas proveniências registradas. As demais, existem apenas no escopo dos *pipelines* formados no âmbito do modelo de execução FTF. Um exemplo didático deste processo é apresentado na seção 5.

O Diagrama UML da Figura 1.a também ilustra o barramento de eventos (*EventBus*). Neste barramento, os eventos são segregados e despachados por domínio para flexibilizar o controle e eficiência de execução. Dá-se a opção de instanciação de objetos polimórficos que podem compartilhar o acesso a eventos. A classe mais apropriada pode tratar o evento. Em termos de armazenamento da proveniência, por exemplo, cada ativação notificam o barramento de eventos, que delega a gravação da proveniência [Simmhan et al., 2005; Freire et al., 2008] a partir do seu *handler*.

No que tange às atividades, cada programa associado tem a opção de produzir eventos *onFinish* e *onError* engatilhado (do inglês, *triggered*) pelo W_fF . O tratamento de erro e steering para o usuário podem ser realizados no barramento por *handlers*. Finalmente, o barramento também apoia informações de notificações associadas à otimização, viabilizando *handlers* específicos para essa finalidade. Usando a API *GraphX* do *Spark*, gera-se, por exemplo, uma representação gráfica do workflow, com sua decomposição em fragmentos, em imagens, para fins de documentação ou depuração.

5. Discussão

Para fins de discussão, esta seção apresenta um workflow de *ETL* voltado a análise de séries espaço-temporais aplicada em problema de mobilidade urbana. O *ETL* faz a importação, limpeza e transformações nos dados obtidos de GPS dos ônibus do Rio de Janeiro coletados a cada minuto. Estes dados são fornecidos pela prefeitura da cidade. O período de análise engloba a Copa do Mundo de 2014 que aconteceu entre 12 de junho a 13 de julho. O intervalo de análise começa em 01/06/2017 e termina em 31/07/2014.

A álgebra de workflows [Ogasawara et al., 2011] descreve seis operadores algébricos. No contexto do W_fF , optou-se por simplificar e fazer uso apenas de cinco deles: *Map*, *SplitMap*, *Reduce*, *Filter* e *JoinQuery*. Este último é chamado apenas por *Query* visando uma integração mais estreita com *SparkSQL* [Armbrust et al., 2015].

A Figura 2.a ilustra a especificação do workflow usando a linguagem *Scala*. Neste

ETL de exemplo, o workflow faz uso apenas de três operadores: (i) *SplitMap*, (ii) *Map*, (iii) *Query*. No *SplitMap*, representado por $T \leftarrow SplitMap(Y, R, a)$, tem-se que a atividade Y produz um conjunto de tuplas na relação de saída T para cada tupla consumida na relação de entrada R . O conjunto de atributos a identifica as composições das tuplas produzidas na operação de *split*. Na linha 6 do exemplo, para o intervalo estabelecido na relação *trajectory*, são criadas 61 tuplas para coleta dos dados de mobilidade dos ônibus correspondente a cada dia do período de 1 de junho de 2014 a 31 de julho de 2014.

As operações envolvendo *Map*, seguem a notação $T \leftarrow Map(Y, R)$, onde a atividade Y produz uma única tupla na relação de saída T para cada tupla consumida na relação de entrada R . Isto ocorre nas linhas de 7 a 10 e na linha 12 do workflow. Na linha 7, para cada dia, faz-se o download efetivo dos dados de trajetória dos ônibus. Trata-se de um arquivo zip contendo um arquivo JSON por minuto. Em cada JSON, tem-se a localização de todos os ônibus em transito no Rio de Janeiro. Na linha 8, cada arquivo zip é processado e produz-se um arquivo RData com as observações minuto a minuto de todos os ônibus para aquele dia. Esta atividade remove os registros duplicados. Na linha 9, faz-se uma remoção de *outliers* por distribuição (velocidade instantânea, posicionamento e distância percorrida). A linha 10 produz as estações virtuais, considerando-se um raio para agrupamentos dos pontos de ônibus, a partir da malha de pontos de ônibus da cidade do Rio de Janeiro [Silva et al., 2016].

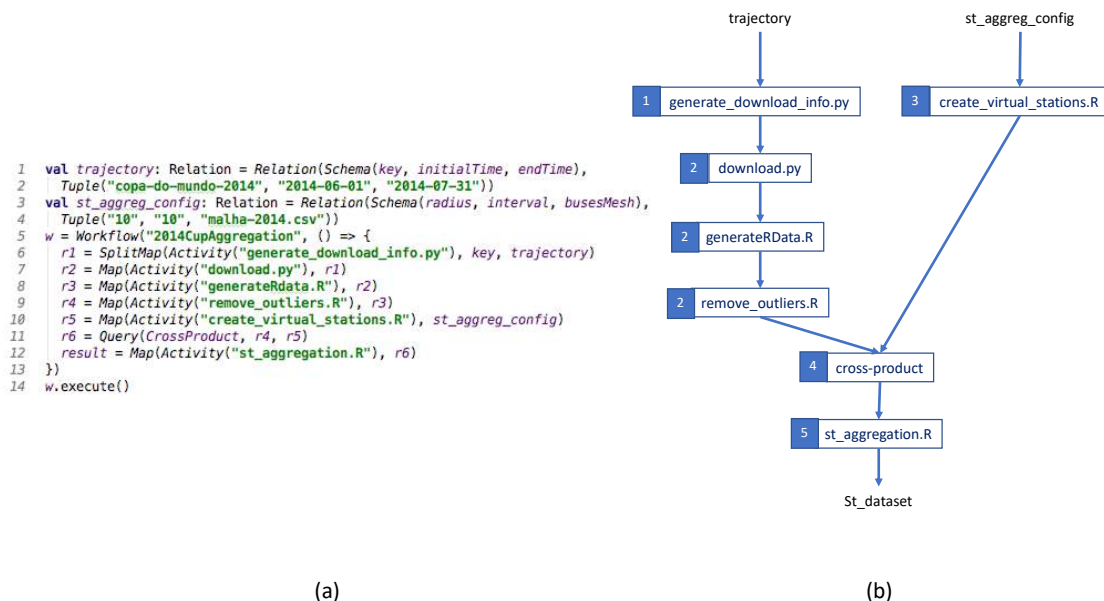


Figura 2. Workflow para análise de tráfego durante a COPA de 2014 : a) Especificação do Workflow usando linguagem Scala; b) grafo mostrando as dependências entre as atividades

A operação de *Query*, representada por $T \leftarrow Query(Y, R_1, \dots, R_n)$, consome um conjunto de relações para produzir uma única relação de saída T . A atividade Y descreve uma consulta sobre as relações de entrada $\{R_1, \dots, R_n\}$. Na linha 11, por exemplo, faz-se o produto cartesiano da relação r_5 com a relação r_4 , *i.e.*, faz-se uma combinação entre os arquivos RData pré-processados e as opções de configurações para agregações espaço-temporais [Silva et al., 2016].

Posteriormente, na linha, 12, tem-se a execução da agregação espaço-temporal em cada configuração de estações virtuais previamente estabelecida. Desta forma, produz-se séries espaço-temporais agregadas temporal e espacialmente, de acordo com as opções previstas na relação *st_aggreg_config*. Ao final do exemplo apresentado, são produzidos 61 arquivos RData de agregações espaço-temporais, um para cada dia.

A Figura 2.b apresenta a relação de dependência no workflow por meio de fluxo de dados entre as atividades. Pode-se observar que o workflow é constituído de duas relações de entrada independentes (*trajectory* e *st_aggreg_config*). No ramo da esquerda, tem-se *trajectory* com schema definido por *key*, *initialTime*, *endTime*. No exemplo, por simplicidade, esta relação possui apenas uma tupla que especifica os valores dos parâmetros para o operador *SplitMap* que produz a relação de saída r_1 . Esta relação serve de entrada para a atividade “generate_download_info.py” e assim por diante.

No ramo da direita, tem-se *st_aggreg_config* com o schema definido por *radius*, *interval*, *busesMesh*. Da mesma forma, esta relação, por simplicidade, também apresenta apenas uma tupla onde especifica os parâmetros para criação das estações virtuais tendo r_5 como relação de saída. Este operador está associado a atividade “create_virtual_stations.R”. Depois, faz-se uma operação de *Query* que realiza o produto cartesiano ligando os dois ramos e processa-se as agregações espaço-temporais para cada dia e configuração de agregação. O produto final é a relação *st_dataset*.

Finalmente, as atividades indicadas na Figura 2.b, têm, ao lado esquerdo do seu nome, a indicação do número do fragmento de workflow associado. Ao todo, são cinco fragmentos. Os fragmentos que contêm apenas uma única atividade apresentam estratégia de execução do tipo FAF, enquanto que as atividades do fragmento 2 apresentam a estratégia de execução FTF [Ogasawara et al., 2011]. O processo de otimização inclui transformações algébricas que poderiam levar a mudanças na ordem de execução das atividades no workflow, mas que neste exemplo, não foi explorado.

6. Considerações finais

O presente trabalho apresenta uma proposta de implementação da álgebra de workflows em Apache Spark no apoio a processos de análise de dados. O trabalho procura ligar as vantagens de décadas de pesquisa na área de workflows com as ferramentas de análise de dados desenvolvidas recentemente e bastante difundidas nos últimos anos. Há também um amplo compromisso em apoio a existência de inúmeros projetos desenvolvidos em diversas linguagens usadas no contexto da Ciência de Dados, como Python e R e, ao mesmo tempo, apoiar aplicações legadas baseadas em programas de linha de comando.

Na implementação da prova de conceito, utilizou-se *Design Patterns*, tais como *Template Method*, *Command*, *Strategy*, *Proxy* e *ValueObject*, adaptados para a linguagem Scala. Como trabalhos futuros, pretendem-se realizar avaliações experimentais de speed-up e eficiência da solução em ambientes distribuídos de larga escala e medir a sobrecarga associada a gestão e armazenamento da proveniência e compará-las com soluções típicas de workflows científicos como, por exemplo, Chiron/Scicumulus [Ogasawara et al., 2013].

Referências

- Armbrust, M., Xin, R. S., Lian, C., Huai, Y., Liu, D., Bradley, J. K., Meng, X., Kaftan, T., Franklin, M. J., Ghodsi, A., et al. (2015). Spark sql: Relational data processing in spark. In *Proceedings of the 2015 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data*, pages 1383–1394. ACM.
- CRAN (2017). The comprehensive r archive network. Technical report, <https://cran.r-project.org>.
- Deelman, E., Gannon, D., Shields, M., and Taylor, I. (2009). Workflows and e-Science: An overview of workflow system features and capabilities. *Future Generation Computer Systems*, 25(5):528–540.
- Fayad, M. and Schmidt, D. C. (1997). Object-oriented application frameworks. *Communications of the ACM*, 40(10):32–38.
- Freire, J., Koop, D., Santos, E., and Silva, C. T. (2008). Provenance for computational tasks: A survey. *Computing in Science & Engineering*, 10(3):11–21.
- Jergler, M., Sadoghi, M., and Jacobsen, H.-A. (2015). D2worm: A Management Infrastructure for Distributed Data-centric Workflows. In *Proceedings of the 2015 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data*, pages 1427–1432, New York, NY, USA. ACM.
- Liu, J., Pacitti, E., Valduriez, P., and Mattoso, M. (2015). A Survey of Data-Intensive Scientific Workflow Management. *Journal of Grid Computing*, 13(4):457–493.
- Ogasawara, E., Dias, J., Oliveira, D., Porto, F., Valduriez, P., and Mattoso, M. (2011). An algebraic approach for data-centric scientific workflows. *Proc. of VLDB Endowment*, 4(12):1328–1339.
- Ogasawara, E., Dias, J., Silva, V., Chirigati, F., de Oliveira, D., Porto, F., Valduriez, P., and Mattoso, M. (2013). Chiron: a parallel engine for algebraic scientific workflows. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, 25(16):2327–2341. 00042.
- Rheinländer, A., Heise, A., Hueske, F., Leser, U., and Naumann, F. (2015). SOFA: An extensible logical optimizer for UDF-heavy data flows. *Information Systems*, 52:96–125.
- Salloum, S., Dautov, R., Chen, X., Peng, P. X., and Huang, J. Z. (2016). Big data analytics on apache spark. *International Journal of Data Science and Analytics*, pages 1–20.
- SciPy (2017). Python-based ecosystem of open-source software for mathematics, science, and engineering. Technical report, <https://www.scipy.org>.
- Silva, A. B., Porto, F., and Ogasawara, E. (2016). Identificação de Motifs em Agregações de Séries Espaço-Temporais de Mobilidade Urbana. In *WTDBD*, Salvador, BA.
- Simmhan, Y. L., Plale, B., and Gannon, D. (2005). A survey of data provenance in e-science. *ACM Sigmod Record*, 34(3):31–36.
- Van Der Aalst, W. M., Ter Hofstede, A. H., and Weske, M. (2003). Business process management: A survey. In *International conference on business process management*, pages 1–12. Springer.
- Zaharia, M., Chowdhury, M., Das, T., Dave, A., Ma, J., McCauley, M., Franklin, M. J., Shenker, S., and Stoica, I. (2012). Resilient distributed datasets: A fault-tolerant abstraction for in-memory cluster computing. In *Proceedings of the 9th USENIX conference on Networked Systems Design and Implementation*, pages 2–2.

BioSciCumulus: um portal para análise de dados de proveniência em *workflows* de biologia computacional

Débora Pina¹, Vinícius Campos¹, Vítor Silva¹,
Kary Ocaña², Daniel de Oliveira³, Marta Mattoso¹

¹COPPE/Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Brasil

²Laboratório Nacional de Computação Científica (LNCC), Brasil

³Instituto de Computação - Universidade Federal Fluminense (IC/UFF), Brasil

{deborabpina, vinicius.s.campos}@poli.ufrj.br, karyann@lncc.br,
danielcmo@ic.uff.br, {silva, marta}@cos.ufrj.br

Resumo. A gerência de experimentos científicos tem sido facilitada por meio de sistemas de *workflows* científicos (SWC). No entanto, a análise dos resultados ainda encontra dificuldades devido ao volume e a heterogeneidade dos dados gerados. Para auxiliar a análise dos experimentos, os SWC capturam dados de proveniência que rastreiam os dados da execução do *workflow*. Ainda assim, a análise por parte do usuário esbarra na dificuldade de conhecimento da linguagem de consultas e da modelagem dos dados de proveniência para realizar a análise. Para apoiar essas questões, este artigo propõe o Portal BioSciCumulus para facilitar a submissão de *workflows* científicos no domínio da bioinformática em ambientes de Processamento de Alto Desempenho (PAD) e a análise de dados, sem a necessidade de o usuário configurar o ambiente de PAD ou especificar as análises via sintaxe de linguagens de consulta.

Abstract. The management of scientific experiments has been supported by Scientific Workflow Systems (SWS). However, result data analysis still presents difficulties due to the volume and heterogeneity of data generated. To assist in the experiment analysis, SWS capture provenance data that track workflow execution data. Nevertheless, the analysis task may be not simple since it requires user expertise in query languages and the modeling of the provenance data to carry out the analysis. To support these issues, this paper proposes the BioSciCumulus Portal to facilitate scientific workflow submission in the bioinformatics domain in High Performance Computing (HPC) environments and data analysis, without the need for the user to configure the HPC environment or to specify their analyses via query language syntax.

1. Introdução

O Brasil detém uma vasta área marinha, denominada como a Amazônia Azul¹, onde habitam organismos de ocorrência restrita ao Brasil. Muitos destes organismos ainda não são conhecidos, e são uma fonte potencial para a descoberta de novas informações sobre genes, relativos aos organismos marinhos presentes na área, que podem levar ao desenvolvimento de novas drogas ou biomarcadores (Andrade *et al.* 2017). Nesse

¹ <https://www.marinha.mil.br/content/amazonia-azul-0>

sentido, a Rede Nacional de Pesquisa em Biotecnologia Marinha² (BiotecMar) realiza pesquisas marinhas de biodiversidade e prospecção em nível especializado, o que permite ao Brasil se posicionar como um potencial produtor em tecnologia, processos e matéria prima. A BiotecMar possibilita tanto o sequenciamento das amostras brasileiras como as análises “ômicas”, *i.e.*, genômica, metagenômica, *etc.* (Simon e Daniel 2011). Esse tipo de análise depende de simulações computacionais complexas para o processamento de grande volume de dados.

Tais simulações são compostas pelo encadeamento de programas científicos e podem ser representadas pela abstração de *workflows* científicos (Davidson e Freire 2008). Como esses *workflows* processam um grande volume de dados, são preferencialmente executados em ambientes de Processamento de Alto Desempenho (PAD). Entretanto, o grande volume de dados produzidos por um único *workflow* de metagenômica e metatranscriptômica da biologia marinha, por exemplo, dificulta as análises por parte dos usuários. Muitos dos Sistemas de *Workflows* Científicos (SWC) existentes, como o Pegasus (McLennan *et al.* 2015) e o Swift/T (Wozniak *et al.* 2013), gerenciam tanto a execução do *workflow* nestes ambientes quanto capturam os dados de proveniência relativos ao *workflow* (Davidson e Freire 2008) (que correspondem ao histórico dos dados relacionados à estrutura, execução e origem dos dados manipulados). Além dos dados de proveniência “tradicionais”, os usuários também necessitam de dados específicos do domínio (conteúdo de arquivos produzidos e consumidos pelo *workflow*), que são essenciais para investigar comportamentos e confirmar (ou refutar) hipóteses científicas.

Mesmo com um SWC que integra, em um mesmo repositório, os dados de proveniência, de sua execução e de domínio associados ao *workflow*, nem sempre é simples definir consultas para permitir a análise de dados. Nestes SWC, os usuários são capazes de submeter consultas, porém é necessário usar linguagens declarativas como o SQL (*Structured Query Language*), SPARQL ou Prolog. Isto requer um esforço de aprendizado por parte do usuário, e tal conhecimento não pode ser exigido dos usuários para que os mesmos possam realizar as suas análises (Gesing *et al.* 2017). De forma a mitigar tal problema, portais científicos têm sido propostos para auxiliar a modelagem, o monitoramento e a análise de dados gerados por *workflows* científicos (Gesing *et al.* 2017). Tais portais integram em um mesmo ambiente uma interface para modelagem e submissão de *workflows*, um SWC para a execução de *workflows*, ferramentas de monitoramento da execução e consulta aos dados produzidos. No quesito consulta aos resultados obtidos de *workflows*, portais proveem funcionalidades para a visualização dos dados e a submissão de consultas “pré-programadas”, *i.e.*, o usuário não pode adicionar/editar consultas ou investigar outros dados de interesse. Além disso, a grande maioria dos SWC exige o término da execução dos *workflows* para disponibilizar os dados para as análises requisitadas pelos usuários (Mattoso *et al.* 2015), sendo assim, portais com esses SWC possuem recursos limitados de processamento de consultas durante a execução.

Diante deste cenário, este artigo propõe um portal, o BioSciCumulus, cujos objetivos são apoiar a submissão de *workflows* e gerenciar a interação com o usuário na execução de *workflows* científicos de bioinformática e biologia computacional em

² <http://biotecmar.com.br>

ambientes de PAD, assim como possibilitar as análises dos resultados obtidos por meio de consultas. O BioSciCumulus é voltado para atender aos requisitos, levantados em Gesing *et al.* (2017), de modelagem de *workflows* científicos por meio de recursos gráficos, de monitoramento da execução de *workflows*, de apoio à gerência da infraestrutura computacional em ambientes de PAD e de análise de dados científicos. Este portal adota o SciCumulus (Oliveira *et al.* 2010) como seu SWC com capacidade de PAD. Apesar de o SciCumulus permitir consultas *ad-hoc* ao longo da execução do *workflow*, a interface textual disponível dificulta essa interação por parte de um usuário não familiarizado com computação, em especial na definição de *workflows* e consultas. Além de prover a possibilidade de usuários executarem as consultas específicas para o seu experimento, o BioSciCumulus também auxilia os usuários a definir a consulta e analisar seu resultado, sem precisar conhecer a sintaxe de uma linguagem de consultas. Do ponto de vista de aplicações, o BioSciCumulus foi instanciado para o domínio da biologia marinha computacional propiciando a execução e a análise dos *workflows* SciPhy (Ocaña *et al.* 2011b), SciEvol (Ocaña *et al.* 2012), SciHm (Ocaña *et al.* 2011a) e SciMG (Benza *et al.* 2015), sendo esses importantes no contexto da rede BiotecMar.

Este artigo está organizado em três seções, além dessa introdução. A Seção 2 discute os trabalhos relacionados. A Seção 3 apresenta o portal BioSciCumulus mostrando a submissão de *workflows* e a análise de dados ao utilizar experimentos de biologia marinha computacional. Finalmente, a Seção 4 conclui este artigo.

2. Trabalhos Relacionados

Existem diversos trabalhos na literatura que propõem portais para apoiar a modelagem de *workflows* científicos e a análise de dados (Abouelhoda *et al.* 2012, Gesing *et al.* 2017, McLennan *et al.* 2015, Nguyen *et al.* 2015). O HubZero (McLennan *et al.* 2015) agrupa no portal um conjunto de comandos que interagem com o SWC Pegasus para definir a estrutura do *workflow* a ser executado, gerar um plano de execução do *workflow* e, inclusive, monitorar a execução em ambientes de PAD. No que diz respeito à análise de dados, o HubZero permite processar somente consultas após o término do *workflow*, impossibilitando assim a análise em tempo de execução. Os demais portais, incluindo a cobertura feita em Gesing *et al.* (2017), possuem consultas predefinidas, sem a especificação de parâmetros para o acesso aos dados de domínio.

O Tavaxy (Abouelhoda *et al.* 2012) é um portal voltado ao domínio da bioinformática, que permite a submissão de *workflows* científicos nos SWC Taverna e Galaxy. O Tavaxy é capaz de gerenciar chamadas remotas de aplicações por meio de serviços *Web* (utilizando o Taverna) e chamadas em infraestruturas locais (utilizando o Galaxy). Entretanto, o Tavaxy permite apenas consultas fixas, que consideram alguns valores de atributos em um mesmo conjunto de dados, ou baseadas em análises globais, como o tempo de execução do *workflow*. O portal WorkWays (Nguyen *et al.* 2015) é um portal semelhante ao Tavaxy, sendo que ele apoia intervenções em tempo de execução, não é específico a um domínio e é baseado no SWC Kepler.

Diferentemente, o FireWorks (Jain *et al.* 2015) e o OpenMOLE (Reuillon *et al.* 2013) correspondem a portais que apoiam a gerência de *workflows* científicos com a captura de dados de proveniência, favorecendo análises baseadas nos rastros de proveniência gerados a partir da execução de experimentos científicos. Além disso, semelhante ao WorkWays, tais portais apoiam intervenções durante a execução de

workflows científicos. Assim, os usuários são capazes de decidir por ajustes na especificação do *workflow* ou mesmo nos dados de entrada. Todavia, tanto o FireWorks quanto o OpenMOLE se restringem a consultas pré-definidas. Diferentemente, o Portal BioSciCumulus se destaca ao oferecer consultas interativas aos dados de proveniência e de domínio ao longo da execução do *workflow* em ambientes de PAD via SciCumulus.

3. Portal BioSciCumulus

Para apoiar a submissão e a análise de *workflows* científicos no domínio de biologia marinha, o Portal BioSciCumulus, baseado no SWC SciCumulus (Oliveira *et al.* 2010) e nas suas extensões (Silva *et al.* 2014), segue a arquitetura apresentada na Figura 1, que consiste em quatro componentes (representados em retângulos azul-escuros): *Interface Gráfica*, *Configuração de Workflows*, *Submissão de Workflows* e *Processamento de Consultas*. O componente *Interface Gráfica* consiste em uma aplicação Java Web com *Servlet*, que recebe e processa requisições nos componentes de configuração e submissão *workflows*, assim como no de processamento de consultas. Para o desenvolvimento das páginas Web, utilizou-se a tecnologia JSP (*Java Server Pages*), além de arquivos no formato HTML, CSS e JavaScript.

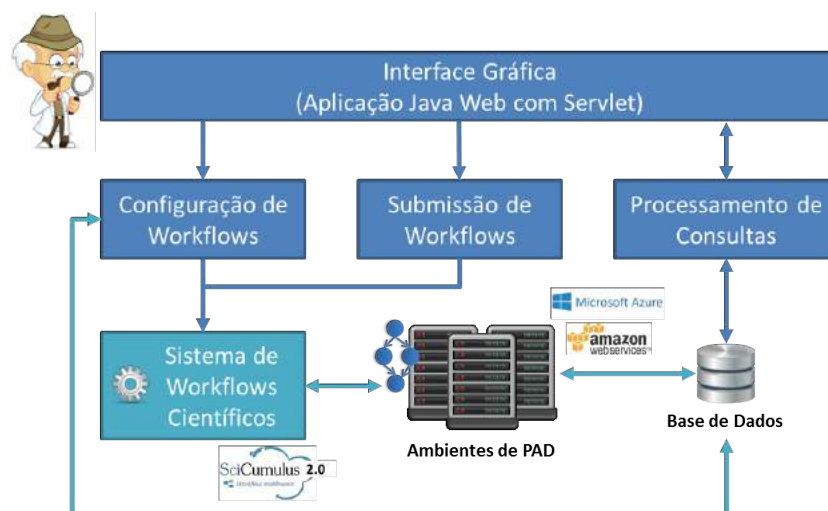


Figura 1: Arquitetura do Portal BioSciCumulus

Uma vez que a interface processa a requisição, ela é enviada ao componente de *Configuração de Workflows*. O componente de *Configuração* recebe da *Interface* um arquivo XML (arquivo de configuração do SciCumulus, que descreve as atividades do *workflow* – invocação de programas – e as relações de dados consumidos e produzidos em cada atividade) com a especificação do *workflow* e os programas a serem executados. Ele registra na base de dados a especificação do XML e configura os diretórios para futuras execuções. Dentre as informações registradas na base de dados, estão o rótulo (*tag*) do *workflow*, que também é usado para o nome da base de dados e um arquivo compactado (em formato *zip*) que contém os arquivos referentes aos programas científicos invocados nas atividades.

No componente de *Submissão de Workflow*, o usuário solicita a execução paralela de *workflows* já cadastrados no Portal. Nesse caso, o BioSciCumulus gerencia cada submissão criando uma instância do *workflow* científico e executando-a em um ambiente de PAD disponível (*e.g.*, um *cluster* ou nuvem). Cada *workflow* configurado previamente apresenta uma *tag* específica (que foi definida pelo usuário). Como um

mesmo *workflow* pode ser executado diversas vezes, o BioSciCumulus gera um identificador para cada execução, chamado de rótulo de execução do *workflow* (*exectag*). Para gerar os diferentes *exectags*, o BioSciCumulus realiza uma consulta à tabela *eworkflow* (que armazena os dados dos *workflows* gerenciados pelo BioSciCumulus) e define o próximo rótulo sem duplicidade.

Ainda em relação ao componente de *Submissão*, o usuário não necessita informar valores para os parâmetros que definem o diretório do *workflow*, o nome da base, seu usuário e senha, uma vez que o portal faz isso automaticamente. Entretanto, os arquivos com os dados de entrada do *workflow* devem ser carregados no Portal nesse momento (operação de *upload*). Para efetivamente executar os *workflows*, o componente de *Submissão* invoca o SciCumulus, que gerencia a execução dos *workflows*. Como o BioSciCumulus usa o banco de dados de proveniência do SciCumulus, a configuração da base de dados cria o esquema de dados público, que contém as tabelas e funções necessárias para a gerência dos dados de proveniência do *workflow* científico. Esse esquema segue o modelo de proveniência PROV-Df (Silva et al. 2016), que é compatível com o padrão W3C PROV.

Neste artigo considerou-se a configuração e submissão dos *workflows* no Portal utilizando-se o SciCumulus. Entretanto, cabe ressaltar que outros SWC, com capacidade de processamento paralelo, poderiam ser utilizados, desde que os parâmetros de entrada e saída dos componentes de Configuração e Consultas do BioSciCumulus fossem adaptados para contemplar os arquivos de configuração e o modelo de dados de proveniência do novo SWC.

Por último, o componente de *Processamento de Consultas* permite a análise de dados, uma vez que lista as bases de dados com *workflows* executados, permitindo que o usuário escolha uma base de dados a ser analisada. A Figura 2 mostra as tabelas da base *scc-sciphy* – base de dados obtida em nossos experimentos ao executar o *workflow* SciPhy usando o SciCumulus. Basta que o usuário escolha a tabela que deseja visualizar para que ela seja apresentada na interface *Web*.



Figura 2: Lista das tabelas do esquema *public* do *workflow* *scc-sciphy*

Na submissão de consultas do BioSciCumulus, o usuário pode submeter três tipos de consulta (uma vez que a base de proveniência do SciCumulus contém os dados que apoiam tais consultas): domínio, monitoramento e depuração. O usuário escolhe o tipo de consulta desejado e as consultas correspondentes já cadastradas são listadas. Em seguida, o usuário escolhe a consulta e faz a sua configuração, a partir de um formulário contendo os parâmetros necessários para a submissão da consulta. A Figura 3 apresenta uma consulta do tipo monitoramento. Após o término da configuração, a consulta é

submetida ao portal, para que ela seja executada sobre a base de dados cadastrada no portal, e o resultado é apresentado junto à descrição textual da consulta (Figura 4). No caso da utilização de outros SWC, um cliente é criado para se comunicar com o sistema de banco de dados do SWC, para que o portal seja usado com a mesma interface de submissão de consultas.

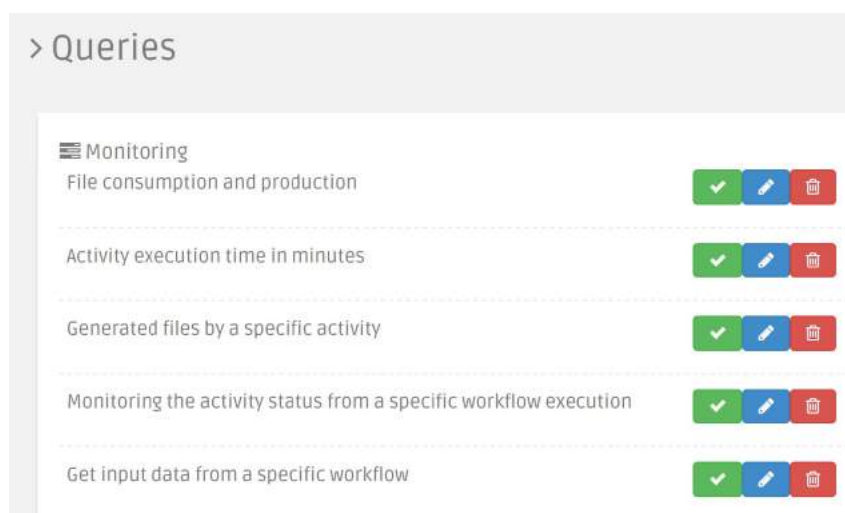


Figura 3: Consultas do tipo *Monitoramento*

Apesar de o BioSciCumulus já apresentar uma lista de consultas parametrizáveis cadastradas, as mesmas podem não atender a necessidade analítica do usuário. Nesse caso, é possível cadastrar e disponibilizar novas consultas, com o apoio de um especialista em computação. Para o cadastro de novas consultas, o Portal BioSciCumulus permite que os usuários informem uma descrição textual e a consulta na linguagem SQL para ser processada no banco de dados do portal. Uma vez cadastrada no portal, o usuário pode analisar a sua descrição textual e definir os parâmetros para a consulta de interesse. Como mencionado por Jagadish *et al.* (2007), o requisito facilidade de uso precisa ser tão importante quanto o desempenho. Eles observam que mesmo linguagens de consulta que permitem a elaboração de consultas complexas, ainda exigem um conhecimento detalhado do esquema da base de dados e esforços de programação para expressar as consultas. Considerando essas questões, observou-se que as principais consultas realizadas pelos usuários se concentravam em tabelas referentes às relações com dados de domínio (bioinformática) e às tarefas executadas (tabela *task*). Por isso, desenvolvemos visões que permitem ao usuário navegar no grafo de proveniência do experimento sem que o mesmo tenha que se preocupar com junções de várias tabelas do banco de dados. Essas visões podem ser utilizadas para gerar consultas parametrizáveis mais complexas que envolvem percorrer todo o grafo enquanto consideram também os dados produzidos.

> Monitoring the activity status from a specific workflow execution

tag	status	starttime	endtime
dataselection	FINISHED	2015-03-17 17:24:14.543-03	2015-03-17 17:24:16.57-03
mafft	FINISHED	2015-03-17 17:24:16.571-03	2015-03-17 17:24:19.409-03
readseq	FINISHED	2015-03-17 17:24:19.414-03	2015-03-17 17:24:22.489-03
modelgenerator	FINISHED	2015-03-17 17:24:22.491-03	2015-03-17 18:46:50.483-03
raxml1	FINISHED	2015-03-17 18:46:54.701-03	2015-03-17 19:30:36.358-03
raxml2	FINISHED	2015-03-17 18:46:50.484-03	2015-03-17 19:23:23.517-03
mergeRaxml	FINISHED	2015-03-17 19:30:36.364-03	2015-03-17 19:30:36.497-03
raxml3	FINISHED	2015-03-17 19:30:36.531-03	2015-03-17 19:30:43.135-03

Figura 4: Resultado da consulta de monitoramento

4. Conclusão

Os *workflows* científicos no cenário de Biologia Marinha computacional auxiliam os usuários em seus trabalhos diários de execução e análise de dados, desde o sequenciamento, anotação e análise de genes/genomas até filogenia e redes metabólicas. Apesar de representarem um avanço, os SWC existentes ainda oferecem apoio limitado no que tange à análise dos dados para não-especialistas em computação. Portais científicos possuem recursos mais voltados ao usuário não especialista, mas por serem muito genéricos, também possuem apoio limitado para consultas a dados em domínios específicos. Este artigo apresentou o Portal BioSciCumulus com uma instanciação no domínio da rede de pesquisas BiotecMar. A modelagem do domínio e execução via BioSciCumulus possibilitou a submissão de *workflows* científicos de uma forma mais simples em ambientes de PAD como *clusters* e nuvens e facilitou o monitoramento e análise da execução de *workflows*, com consultas sobre os dados de proveniência e de domínio. Uma vantagem do BioSciCumulus em comparação com as abordagens existentes é que ele não fixa as possíveis consultas, sendo um ambiente configurável por parte do usuário. Como trabalhos futuros, pretende-se proporcionar um mecanismo de geração automática de consultas em SQL, durante a fase de análise, de acordo com restrições especificadas pelo usuário de uma forma gráfica e sua incorporação a outros SWC, assim como a instalação e a configuração desta solução no portal da Rede Nacional de Bioinformática (<http://bioinfo.lncc.br>) alocado ao Sistema Nacional de Processamento de Alto Desempenho (<https://www.lncc.br/sinapad>) no LNCC.

Agradecimentos. Os autores gostariam de agradecer ao CNPq, Capes e FAPERJ pelo financiamento parcial deste trabalho.

Referências Bibliográficas

- Abouelhoda, M., Issa, S., Ghanem, M., (2012), "Tavaxy: Integrating Taverna and Galaxy workflows with cloud computing support", *BMC Bioinformatics*, v. 13, p. 77.
- Andrade, A. C., Fróes, A., Lopes, F. Á. C., Thompson, F. L., Krüger, R. H., Dinsdale, E., Bruce, T., (2017), "Diversity of Microbial Carbohydrate-Active enZYmes (CAZYmes) Associated with Freshwater and Soil Samples from Caatinga Biome", *Microbial Ecology* (Jan.)

- Benza, S., Ocaña, K., Silva, V., Oliveira, D., Mattoso, M., (2015), "Modelling Data-intensive Metagenomics Experiments Using Scientific Workflows". In: *X-Meeting 2015 - 11th International Conference of the AB3C + Brazilian Symposium of Bioinformatics*, São Paulo.
- Davidson, S. B., Freire, J., (2008), "Provenance and scientific workflows: challenges and opportunities". In: *ACM SIGMOD*, p. 1345–1350, Vancouver, Canada.
- Gesing, S., Dooley, R., Pierce, M., Krüger, J., Grunzke, R., Herres-Pawlis, S., Hoffmann, A., (2017), "Gathering requirements for advancing simulations in HPC infrastructures via science gateways", *Future Generation Computer Systems* (Mar.)
- Jagadish, H. V., Chapman, A., Elkiss, A., Jayapandian, M., Li, Y., Nandi, A., Yu, C., (2007), "Making database systems usable". , p. 13
- Jain, A., Ong, S. P., Chen, W., Medasani, B., Qu, X., Kocher, M., Brafman, M., Petretto, G., Rignanese, G.-M., et al., (2015), "FireWorks: a dynamic workflow system designed for high-throughput applications", *CCPE*, v. 27, n. 17, p. 5037–5059.
- Mattoso, M., Dias, J., Ocaña, K. A. C. S., Ogasawara, E., Costa, F., Horta, F., Silva, V., de Oliveira, D., (2015), "Dynamic steering of HPC scientific workflows: A survey", *FGCS*, v. 46 (May.), p. 100–113.
- McLennan, M., Clark, S., Deelman, E., Rynge, M., Vahi, K., McKenna, F., Kearney, D., Song, C., (2015), "HUBzero and Pegasus: integrating scientific workflows into science gateways: HUBZERO AND PEGASUS", *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, v. 27, n. 2 (Feb.), p. 328–343.
- Nguyen, H. A., Abramson, D., Kipouros, T., Janke, A., Galloway, G., (2015), "WorkWays: interacting with scientific workflows", *CCPE*, v. 27, n. 16 (Nov.), p. 4377–4397.
- Ocaña, K. A. C. S., Oliveira, D. de, Horta, F., Dias, J., Ogasawara, E., Mattoso, M., (2012), "Exploring Molecular Evolution Reconstruction Using a Parallel Cloud-based Scientific Workflow". In: *BSBBSB*, p. 179–191, Berlin, Heidelberg.
- Ocaña, K. A. C. S., Oliveira, D., Dias, J., Ogasawara, E., Mattoso, M., (2011a), "Optimizing Phylogenetic Analysis Using SciHm Cloud-based Scientific Workflow". In: *Proceedings of the 7th IEEE International Conference on e-Science (e-Science) IEEE e-Science 2011*, p. 190–197, Stockholm, Sweden.
- Ocaña, K., Oliveira, D. de, Ogasawara, E., Dávila, A., Lima, A., Mattoso, M., (2011b), "SciPhy: A Cloud-Based Workflow for Phylogenetic Analysis of Drug Targets in Protozoan Genomes". In: *Advances in Bioinformatics and Computational Biology*, p. 66–70
- Oliveira, D., Ogasawara, E., Baião, F., Mattoso, M., (2010), "SciCumulus: A Lightweight Cloud Middleware to Explore Many Task Computing Paradigm in Scientific Workflows". In: *International Conference on Cloud Computing International Conference on Cloud Computing*, p. 378–385, Washington, DC, USA.
- Reuillon, R., Leclaire, M., Rey-Coyrehourcq, S., (2013), "OpenMOLE, a workflow engine specifically tailored for the distributed exploration of simulation models", *Future Generation Computer Systems*, v. 29, n. 8 (Oct.), p. 1981–1990.
- Silva, V., de Oliveira, D., Valduriez, P., Mattoso, M., (2016), "Analyzing related raw data files through dataflows", *CCPE*, v. 28, n. 8, p. 2528–2545.
- Silva, V., Oliveira, D., Mattoso, M., (2014), "SciCumulus 2.0: Um Sistema de Gerência de Workflows Científicos para Nuvens Orientado a Fluxo de Dados". In: *Sessão de Demos do XXIX Simpósio Brasileiro de Banco de Dados*, Curitiba, Paraná.
- Simon, C., Daniel, R., (2011), "Metagenomic Analyses: Past and Future Trends", *Applied and Environmental Microbiology*, v. 77, n. 4 (Feb.), p. 1153–1161.
- Wozniak, J. M., Armstrong, T. G., Wilde, M., Katz, D. S., Lusk, E., Foster, I. T., (2013), "Swift/T: Large-Scale Application Composition via Distributed-Memory Dataflow Processing". In: *CCGrid*, p. 95–102

Predição de Falhas em *Workflows* Científicos em Nuvens baseada em Aprendizado de Máquina

Daniel Pinheiro da Silva Junior^{1*}, Aline Paes¹, Daniel de Oliveira¹

¹Instituto de Computação – Universidade Federal Fluminense (UFF)

danieljunior@id.uff.br, {alineaes, danielcmo}@ic.uff.br

Resumo. *Os cientistas cada vez mais têm se apoiado em ferramentas computacionais para executar e analisar experimentos científicos, almejando reduzir esforços e custos para comprovar ou refutar hipóteses. Entretanto, recursos podem ser desperdiçados se os parâmetros usados nas aplicações fizerem com que a execução do experimento falhe. Assim, para diminuir a quantidade de execuções que resultam em falha, este artigo propõe a integração de uma técnica de Aprendizado de Máquina com um Sistema de Gerência de Workflows Científicos para induzir um modelo preditivo de falhas, a partir de dados de proveniência. Resultados experimentais mostram que o modelo é capaz de identificar corretamente casos de falha no Workflow Científico SciPhy.*

1. Introdução

Os cientistas de áreas como a biologia e a astronomia executam experimentos científicos a fim de comprovar ou refutar suas hipóteses. Muitos desses experimentos são modelados como *Workflows* Científicos [Mattoso et al. 2010]. Um *workflow* é composto por atividades que possuem dependências de dados entre si, onde cada atividade invoca programas de computador. Os *workflows* científicos são gerenciados por Sistemas de Gerência de *Workflows* Científicos (SGWfC). Existem diversos SGWfCs como o Swift/T [Wozniak et al. 2013] e o SciCumulus [de Oliveira et al. 2010], e a maioria deles, além de gerenciar a execução, capturam dados históricos do *workflow*, chamados de dados de proveniência [Freire et al. 2008].

Um mesmo *workflow* pode ser executado diversas vezes, variando-se parâmetros e dados de entrada a fim de confirmar uma hipótese. Em muitos cenários, os cientistas não sabem quais são os valores e parâmetros que produzem resultados satisfatórios, logo, os mesmos tem que explorar uma gama de valores, similar a um processo de tentativa e erro. A grande dificuldade desse processo é que algumas combinações de parâmetros podem gerar erros de execução ou não produzir resultados úteis. Em ambos os casos, tais problemas podem comprometer todo o experimento. Esse cenário torna-se ainda mais complexo se considerarmos que muitos dos *workflows* são executados em ambientes de processamento de alto desempenho que possuem custos associados, como as nuvens públicas (e.g. Amazon AWS). Neste caso, tais erros podem gerar além de atrasos na execução (que já são indesejáveis), prejuízo financeiro. Dessa forma, se torna fundamental que a execução dos *workflows* seja minimamente impactada por falhas que sejam produtos de valores de parâmetros e dados de entrada mal definidos pelos cientistas.

*Este artigo foi financiado parcialmente pelo CNPq, FAPERJ e CAPES

Entretanto, não é trivial identificar *a priori* quais dados ou valores de parâmetros podem gerar erros de execução do *workflow*. Mesmo com todo o histórico de execuções passadas de *workflows* disponível (*i.e.* dados de proveniência) ainda é uma tarefa árdua e propensa a erros identificar manualmente padrões ou extrair regras que possam ser utilizados pelos SGWfC para prever falhas e informar ao usuário que um determinado valor de parâmetro tem chance de gerar erros de execução. Acreditamos que algoritmos de Aprendizado de Máquina [Mitchell 1997] podem ser adaptados e aplicados a este tipo de problema, sendo capazes de induzir modelos preditivos a partir de dados de proveniência.

Assim, nesse artigo, propomos um componente que aplica o método de aprendizado de máquina chamado de Máquinas de Vetores de Suporte [Cortes and Vapnik 1995] (SVM), para induzir um modelo que seja capaz de prever uma falha no *workflow*, a partir dos dados de proveniência que incluem características dos programas e dados da infraestrutura utilizada na execução. Adicionalmente, como é possível que falhas no *workflow* não tenham sido registradas no banco de dados de proveniência (*i.e.* nenhuma execução passada apresentou falhas de atividades), propomos o uso de SVM tanto para diferenciar os casos de sucesso e os de falha, como para criar um modelo que seja capaz de detectar um comportamento anômalo no *workflow*, a partir apenas de casos de sucesso fornecidos como exemplo (SVM *One Class*). O componente desenvolvido foi acoplado ao SGWfC SciCumulus de forma que o próprio SGWfC fosse capaz de verificar quais combinações de parâmetros podem gerar erro ou não, de forma a ajustar a execução para evitar falhas. Resultados experimentais com o modelo induzido para o *workflow* SciPhy [Ocaña et al. 2011] mostram que a abordagem proposta é capaz de identificar dados e parâmetros de entrada que produzem falhas na execução do *workflow* de forma satisfatória.

O artigo está organizado em 4 seções além da introdução. A Seção 2 revisão de conceitos e trabalhos relacionados. A Seção 3 apresenta a abordagem proposta, incluindo os componentes de coleta de dados, aprendizado do SVM e visualização dos resultados. A Seção 4 apresenta os resultados experimentais obtidos a partir do uso do componente. Finalmente, a seção 5 conclui o trabalho e apresenta direções para trabalhos futuros.

2. Referencial Teórico e Trabalhos Relacionados

2.1. Aprendizado de Máquina e Máquinas de Vetores de Suporte

A maneira convencional que usamos o computador é por meio de aplicações desenvolvidas com algum paradigma de programação onde as instruções do que o computador deve fazer são explícitas. A área de *Aprendizado de Máquina* [Mitchell 1997], na tentativa de resolver problemas que são difíceis de serem programados de forma explícita, procura generalizar uma informação, induzir um modelo, ou construir uma hipótese por meio de exemplos ou fatos.

Algoritmos de Aprendizado de Máquina necessitam de dados de entrada para serem executados. A informação utilizada como entrada é na forma de uma base de dados composta por um conjunto de *exemplos* (no contexto desse artigo, os exemplos são os dados de proveniência). Ou seja, considerando que a base de dados é uma matriz $N \times M$, Cada linha $0 < i \leq N$ representa um exemplo, e cada coluna $0 < j \leq M$ é um *atributo* do i -ésimo exemplo, ou seja cada exemplo é descrito por um conjunto de atributos.

O aprendizado pode ser *supervisionado*, em que o conjunto de exemplos possui tanto as entradas como as saídas esperadas para uma tarefa, ou *não-supervisionado*, onde apenas as entradas são fornecidas para o algoritmo. Dois exemplos de classes de problemas no aprendizado supervisionado são: *Regressão*, quando o valor de resposta do exemplo é contínuo, e a *Classificação*, quando o valor de resposta para o exemplo é um valor discreto. Existem diversos algoritmos de Aprendizado de Máquina. Nesse artigo, focamos no algoritmo que aprende *Vetores de Suporte*, chamado de *Support Vector Machines (SVM)* [Cortes and Vapnik 1995, Steinwart and Christmann 2008], que podem ser usados tanto para Classificação quanto para Regressão.

Sob a perspectiva da Classificação, a ideia do SVM é encontrar o hiperplano que separa os dados das classes do domínio, com a maior margem de distância entre os exemplos [Cortes and Vapnik 1995]. O SVM possui 3 componentes principais: *Vetores de Suporte*, *Vetor de pesos* e *Kernel*. Os Vetores de Suporte são um subconjunto do conjunto de exemplos que são utilizados como a base de criação dos vetores ou curvas que separam as classes, denominados *fronteira de decisão*. O Vetor de pesos é o grau de contribuição que cada atributo dos vetores de suporte tem na classificação. O *Kernel* é uma função que tem como objetivo mapear um dado espaço em outro, usado principalmente em casos onde os dados não são linearmente separáveis. Assim, o hiperplano que divide os dados pode ser representado pela Equação $f(x) = w \cdot x + b = 0$ (1), onde o termo w , é referente ao vetor de pesos para cada atributo dos vetores de suporte. O termo x é um vetor de atributos de cada instância do conjunto de exemplos e o b é o viés que função tem, no caso da reta, geometricamente interpretado como o coeficiente angular.

One-Class Support Vector Machines Existem casos onde executar a tarefa de Classificação da forma que vimos até o momento para determinados tipos de problemas é inviável a partir dos algoritmos tradicionais de construção de hipóteses, visto que existem poucos ou nenhum exemplo para representar uma classe (*e.g.* a falta de falhas em *workflows* na base de proveniência citada anteriormente). Neste cenário, podem ser usados algoritmos de *a Detecção de Anomalias*, que diferem levemente de abordagens para classificação. Um dos modelos propostos sob esta perspectiva é o *One-Class Support Vector Machines* [Amer et al. 2013], que é uma variação dos algoritmos de SVM, e pode ser visto como uma abordagem de Aprendizado Não-Supervisionado, pois é pressuposta a existência de dados de apenas uma classe não explicitada nos dados. O *One-Class SVM* utiliza o mesmo conceito de *Kernel* de SVMs tradicionais, para transformar o espaço original dos dados de treinamento em um outro espaço. Porém, essa transformação não tem a ver com a separação dos dados entre si, uma vez que todos pertencem a mesma classe. A fronteira de decisão do *One-Class* é encontrada a partir do hiperplano que está mais distante da origem, de modo que entre a origem e o hiperplano não existam ocorrências de registros. Essa restrição pode ser relaxada introduzindo variáveis de folga e conseguindo uma margem maior de separação.

2.2. Trabalhos Relacionados

A maioria dos trabalhos relacionados ao uso de técnicas de Aprendizado de Máquina para apoiar os usuários de SGWfCs está na composição dos *workflows*. As tarefas focam em recomendar, na maior parte das vezes, qual sequência de atividades escolher [Yeo and Abidi 2013]. Outros poucos trabalhos focam em utilizar algoritmos de aprendizado de máquina para prever falhas em execuções.

[Câmara et al. 2015] propõe uma abordagem para predição de falhas em *workflows* que utiliza árvores de decisão [Mitchell 1997]. Entretanto, árvores de decisão usualmente produzem classificadores inferiores aos SVMs [Mitchell 1997]. Em [Bala and Chana 2015] Bala desenvolveu um trabalho semelhante, no entanto usou técnicas de aprendizado diferentes: Naive Bayes, Regressão Logística, Redes Neurais Artificiais e Random Forest. Em [Si et al. 2016], é proposto um algoritmo de predição temporal de exceções onde as predições são baseados no estado de execução do *workflow*.

Utilizando uma abordagem Não-Supervisionada, usando o algoritmo de clusterização *K-Means*, Samak *et al.* em [Samak et al. 2011], propõem que os atributos necessários para a verificação de semelhança do *workflow* atual com algum dos *clusters* previamente extraídos por meio de dados históricos sejam recomputados, de acordo com a produção de dados de monitoramento das etapas de execução do *workflow*.

Gaikwad desenvolveu um trabalho que envolve a Detecção de Anomalias, porém voltado para a infraestrutura do ambiente de execução do *workflow*. Em [Gaikwad et al. 2016], procura-se detectar a degradação de desempenho de execução e falhas de execução dos *workflows* em um ambiente de nuvem. Para a detecção, foi desenvolvido um algoritmo baseado em modelos Autoregressivos, porém tal método não funciona bem se a maioria dos exemplos é positivo ou negativo.

3. Um Componente para Predição de Falhas em *Workflows* Científicos

Neste artigo, implementamos um componente chamado *PredFail* que foi acoplado ao SGWfC SciCumulus para prever falhas e execuções anômalas em *workflows* científicos, visando economizar recursos que poderiam ser desperdiçados em tais situações. Tal componente é baseado no aprendizado de modelos por meio de SVMs e se apoia no grande volume de dados de proveniência gerado pelo SciCumulus em suas execuções. Os módulos do componente, bem como suas integrações, são apresentados na Figura 3.

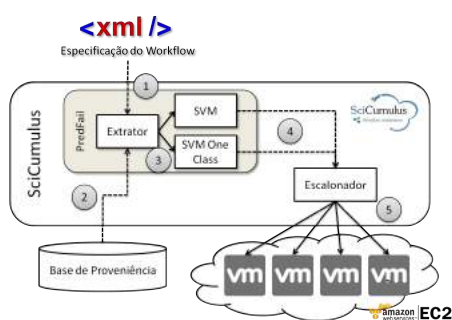


Figura 1. Arquitetura proposta - *PredFail* acoplado ao SGWfC SciCumulus. As setas pontilhadas representam transferências de dados e as setas cheias indicam a ordem de execução.

Uma vez que a especificação do *workflow* é submetida ao SciCumulus, o SGWfC envia a mesma ao *PredFail* antes mesmo de iniciar sua execução (etapa 1 na Figura 1). O *PredFail* analisa quais são as combinações de parâmetros utilizadas e qual o *workflow* a ser executado e importa do banco de dados de proveniência (etapa 2) as informações relativas a execuções passadas do mesmo *workflow*. Esses dados são convertidos no formato

CSV e enviados aos algoritmos de SVM (etapa 3). Então, os algoritmos de SVM podem construir o modelo (de detecção de falhas e de anomalia) a partir dos dados extraídos. Finalmente, a partir dos modelos construídos, o *PredFail* pode realizar as previsões com os valores de parâmetros informados. Se algum valor de parâmetro for classificado como que vai produzir erros, essa execução é abortada. Somente combinações que não produzirão erros é que são enviadas ao escalonador (etapa 4) para serem efetivamente executados na nuvem (etapa 5). O *PredFail* foi implementado em Python, usando o padrão *Model-View-Controller* (MVC). A seguir apresentamos cada módulo do *PredFail* com mais detalhes.

3.1. Extração da Base de Dados a partir do Banco de Dados de Proveniência

Para extrair os dados de proveniência do Banco de Dados gerenciado pelo SciCumulus, de forma que eles estejam em um formato manuseável por um algoritmo de Aprendizado de Máquina, são executadas uma série de consultas SQL. É permitido que o usuário personalize as consultas SQL que o *PredFail* executa, de forma que mudanças no *schema* do banco possam ser facilmente absorvidas.

A consulta SQL utilizada nos experimentos desse artigo extrai dados relativos ao *id* de atividades, *id* da máquina virtual onde a atividade foi executada, a quantidade de processadores que esta máquina possui e o *exitstatus* da execução da atividade, representando o sucesso ou falha da execução da mesma. A variável de classe é sempre considerada como a última coluna extraída pela consulta SQL, *i.e.* se a atividade falhou ou não. Caso haja um erro na consulta SQL, o componente não permite que o usuário continue o processo e envia todas as combinações de parâmetros para o SciCumulus, mesmo as que podem produzir falhas. O *backup* da base de proveniência do SciCumulus e as consultas SQL utilizadas nos experimentos podem ser obtidos em <https://github.com/UFFeScience/PredFail>.

3.2. Detecção de Falhas com Máquinas de Vetores de Suporte

Com a base de dados devidamente formatada, o componente constrói os modelos de previsão de falhas e detecção de anomalias com SVMs. Para tanto, o componente é integrado à Biblioteca de Aprendizado de Máquina SciKit-Learn [Pedregosa et al. 2011].

Podem existir casos onde os dados de proveniência das execuções dos *workflows* possua apenas dados de execuções de sucesso. Nestes casos, modelos supervisionados de classificação não são capazes de serem treinados, devido à existência de dados de apenas uma classe. No contexto deste artigo, foi usado o *SVM One-Class* para lidar com este tipo de situação. Nesse caso, um conjunto de valores de atributos que fogem aos padrões descobertos pelo algoritmo será considerado um caso de falha.

Quanto aos dados, a única diferença da previsão de falhas com SVM e da detecção de anomalias com o *SVM One-Class*, é que o primeiro requer uma variável de classe. Ambos os algoritmos implementados na biblioteca SciKit requerem que dados categóricos sejam codificados em numéricos, e para tanto usamos a codificação *One-Hot* [Coates and Ng 2011], que transforma cada possível valor de um atributo categórico em binário.

4. Avaliação Experimental

A fim de avaliar experimentalmente o componente proposto, foram utilizados os dados de proveniência coletados pelo SGWfC SciCumulus durante execuções do *workflow* ci-

Tabela 1. Resultados: SVM

kernel	grau	Média Acurácia	Média Recall	Média F1-Score	Média Precisão
linear	-	0.43	0.52	0.11	0.07
poly	1	0.53	0.37	0.09	0.06
poly	2	0.62	0.25	0.07	0.04
poly	3	0.76	0.32	0.15	0.11
rbf	-	0.94	0.0	0.0	0.0
sigmoid	-	0.94	0.0	0.0	0.0

Tabela 2. Resultados: SVM One-Class

kernel	grau	Média Acurácia	Média Recall	Média F1-Score	Média Precisão
linear	-	0.5	0.68	0.16	0.09
poly	1	0.52	0.68	0.16	0.09
poly	2	0.52	0.68	0.16	0.09
poly	3	0.52	0.68	0.16	0.09
rbf	-	0.68	0.1	0.01	0.0
sigmoid	-	0.94	0.0	0.0	0.0

entífico SciPhy [Ocaña et al. 2011] no ambiente de nuvem da Amazon AWS. O SciPhy é um *workflow* científico da área da bioinformática desenvolvido para construir árvores filogenéticas a partir de sequências de DNA, RNA e aminoácidos. Para mais informações, favor consultar Ocaña *et al.*

Metodologia Experimental A consulta para extração dos dados em uma base de 150 execuções do SciPhy retornou 400 tuplas, sendo 376 exemplos de sucesso de execução e 24 exemplos de falha. Para executar o *SVM One-class* apenas os dados de sucesso foram utilizados durante o treinamento, mas todos os dados foram utilizados para fins de teste. Para o treinamento, foi utilizado um computador com processador *Celeron(R) Dual-Core CPU T3300 @ 2.00GHz x 2*, memória de *4GB DDR2*, e taxa de transferência de *300 MBps*, e SO Linux-Ubuntu. Para a obtenção dos resultados quantitativos, foi utilizada a abordagem *Stratified 10-Fold Cross Validation* [Refaeilzadeh et al. 2009], onde os exemplos são divididos em conjuntos, mas obedecendo a distribuição original das classes. A cada iteração, $k - 1$ conjuntos são usados para treinamento e o conjunto restante é usado para validação dos resultados.

Resultados do Classificador SVM Para a predição de falhas com o SVM foram experimentados os *kernels* (1) Sigmoid, (2) Linear, (3) Polinomial e (4) *Radial Basis Function* (RBF). No terceiro caso, é necessário definir um parâmetro *degree*, que é o grau do polinômio usado para a fronteira de decisão do modelo. No quarto caso, que assume uma distribuição Gaussiana para os exemplos, é necessário definir o parâmetro *gamma*, que indica o quanto um único exemplo afeta o modelo. Este parâmetro será fixo com o valor padrão *auto*. Todos os *kernels* requerem o parâmetro *C*, responsável por analisar se o modelo está sendo aprimorado a cada iteração, e que será fixado com o valor 1. A Tabela 1 apresenta as médias para os conjuntos de validação das métricas *Acurácia*, *Recall*, *F1-Score* e *Precisão* [Han et al. 2012], obtidas a partir da execução do componente configurado com diferentes parâmetros do classificador SVM. Em uma primeira análise, pode parecer que os *kernels rbf* e *sigmoid* apresentam os melhores resultados no que diz respeito a acurácia dos modelos (94%). No entanto, as demais métricas mostram que, devido ao desbalanceamento do conjunto de treinamento, o modelo construído a partir de todos os *kernels* acabou por favorecer a classe majoritária (casos de execuções de sucesso). Assim, podemos concluir que o modelo construído com o *kernel polinomial* e *degree = 3*, foi o que obteve o melhor resultado, pois junto à *acurácia* de 76%, observou-se também um *recall* de 32%.

Resultados do Detector de Anomalias One-Class O Detector de Anomalias *One-Class*, possui muitos parâmetros similares ao SVM, exceto pelo parâmetro C . Por outro lado, no *SVM One-class* existe o parâmetro γ , fixado aqui 0,5, e que representa um limite superior para o erro de treinamento e para a quantidade de vetores de suporte, ambos em fração. A Tabela 2 apresenta as mesmas métricas da Tabela 1. No entanto, para o modelo *SVM One-Class* o conjunto de treinamento utilizado continha apenas dados de execuções de sucesso, e a porção de dados de testes usada no processo de validação cruzada foram retirados do mesmo conjunto de dados que o SVM tradicional, contendo casos de sucesso e de falha de execuções, onde a falha é a classe positiva. Os modelos induzidos com o *kernel linear* e *polinomial* obtiveram resultados semelhantes, tendo uma acurácia média baixa. Porém, esses modelos foram os que retornaram os melhores valores de *Recall*, isto é, obtiveram melhor capacidade de generalizar o caso de falha, mesmo a partir de um número reduzido de exemplos nesta classe. Observamos ainda uma melhora nos resultados de *recall* em relação ao SVM tradicional, o que indica que o modelo consegue detectar casos anômalos com sucesso.

5. Conclusões e Trabalhos Futuros

Workflows Científicos e SGWfCs incrementaram a produtividade dos cientistas em suas áreas de pesquisa, devido ao apoio à gerência de execuções e armazenamento de dados. Contudo, com os experimentos cada vez mais complexos, a escolha de parâmetros a serem usados na execução de um *workflow* ainda é uma tarefa árdua em muitos casos, agravada pelo fato de que uma escolha incorreta pode resultar em desperdício de recursos.

O componente proposto neste artigo, chamado de *PredFail*, apoia a execução de *workflows*, ao utilizar Aprendizado de Máquina para induzir um modelo preditivo de falhas. Os modelos induzidos pelos dados de proveniência, que podem conter ou não os casos de falhas, mostraram que é possível prever se o conjunto de parâmetros utilizados resulta ou não em uma execução com falha no *workflow*. Mesmo com uma base de treinamento desbalanceada, o SVM e o *SVM One-Class* foram capazes de obter resultados significativos, particularmente em termos do *recall* obtido pelo último. *PredFail* foi projetado para operar em dados de proveniência armazenados em uma base de dados relacional, permitindo que ele possa ser utilizado também com dados que não foram gerados pelo SciCumulus.

Futuramente, os modelos induzidos pelo *PredFail* serão adaptados automaticamente, caso surjam novos casos de falhas. Além disso, as falhas serão discriminadas em tipos mais específicos e outros tipos de classificadores também serão utilizados.

Referências

- Amer, M., Goldstein, M., and Abdennadher, S. (2013). Enhancing one-class support vector machines for unsupervised anomaly detection. *Proc. of the ACM SIGKDD Workshop on Outlier Detection and Description*, pages 8–15.
- Bala, A. and Chana, I. (2015). Intelligent failure prediction models for scientific workflows. *Expert Systems with Applications*, 42(3):980 – 989.
- Coates, A. and Ng, A. Y. (2011). The importance of encoding versus training with sparse coding and vector quantization. In *Proc. of the 28th Int. Conf. in Machine Learning*, pages 921–928.

- Cortes, C. and Vapnik, V. (1995). Support-vector networks. *Machine Learning*, 20(3):273–297.
- Câmara, R. V., Paes, A., and de Oliveira, D. (2015). Aplicação de Árvores de Decisão para Recomendação de Parâmetros em Workflows Científicos. *Brazilian e-Science Workshop*.
- de Oliveira, D., Ogasawara, E., Baião, F., and Mattoso, M. (2010). SciCumulus: A Lightweight Cloud Middleware to Explore Many Task Computing Paradigm in Scientific Workflows. *Proceedings of the 3rd IEEE Int. Conf. on Cloud Computing*.
- Freire, J., Koop, D., Santos, E., and Silva, C. T. (2008). Provenance for Computational Tasks: A Survey. *Computing in Science & Engineering*, pages 20–30.
- Gaikwad, P., Mandal, A., Ruth, P., Juve, G., Król, D., and Deelman, E. (2016). Anomaly Detection for Scientific Workflow Applications on Networked Clouds. *International Conference on High Performance Computing & Simulation (HPCS)*.
- Han, J., Kamber, M., and Pei, J. (2012). *Data Mining: Concepts and Techniques, Third Edition*. Elsevier.
- Mattoso, M., Werner, C., Travassos, G. H., Braganholo, V., Murta, L., Ogasawara, E., de Oliveira, D., da Cruz, S. M. S., and Martinho, W. (2010). Towards Supporting the Life Cycle of Large-scale Scientific Experiments. *Int. Journal of Business Process Integration and Management*, pages 79–92.
- Mitchell, T. M. (1997). *Machine Learning*. McGraw-Hill Science/Engineering/Math.
- Ocaña, K., de Oliveira, D., Ogasawara, E., Davila, A., Lima, A., and Mattoso, M. (2011). SciPhy: A Cloud-based Scientific Workflow for Phylogenetic Analysis of Drug Targets in Protozoan Species. *Brazilian Symposium of Bioinformatics*.
- Pedregosa, F., Varoquaux, G., Gramfort, A., Michel, V., Thirion, B., Grisel, O., Blondel, M., Prettenhofer, P., Weiss, R., Dubourg, V., et al. (2011). Scikit-learn: Machine learning in python. *Journal of Machine Learning Research*, 12(Oct):2825–2830.
- Refaeilzadeh, P., Tang, L., and Liu, H. (2009). *Cross-Validation*, pages 532–538. Springer US, Boston, MA.
- Samak, T., Gunter, D., Goode, M., Deelman, E., Juve, G., Mehta, G., Silva, F., and Vahi, K. (2011). Online Fault and Anomaly Detection for Large-Scale Scientific Workflows. *IEEE Int. Conf. on High Performance Computing and Communications*.
- Si, Y.-W., Hoi, K.-K., Biuk-Aghai, R. P., Fong, S., and Zhang, D. (2016). Run-based exception prediction for workflows. *Journal of Systems and Software*, 113:59 – 75.
- Steinwart, I. and Christmann, A. (2008). *Support vector machines*. Springer Science & Business Media.
- Wozniak, J. M., Armstrong, T. G., Wilde, M., Katz, D. S., Lusk, E., and Foster, I. T. (2013). Swift/t: Scalable data flow programming for many-task applications. *SIG-PLAN Not.*, 48(8):309–310.
- Yeo, P. and Abidi, S. S. (2013). Dataflow oriented similarity matching for scientific workflows. *IEEE 27th International*, page 2091–2100.

SciPhyloMiner: um *Workflow* para Mineração de Dados Filogenômicos de Protozários

Thaylon Guedes¹, Kary Ocaña², Daniel de Oliveira¹

¹Instituto de Computação - Universidade Federal Fluminense

²Laboratório de Bioinformática, Laboratório Nacional de Computação Científica

{thaylongs, danielcmo}@ic.uff.br, karyann@lncc.br

Resumo. *Uma tarefa importante na bioinformática é explorar informações evolutivas contidas em árvores filogenéticas, para a identificação padrões ou assinaturas que demonstrem a presença de determinado processo evolutivo. A presente pesquisa visa explorar as árvores filogenéticas de genes ortólogos nos genomas de protozoários no nível genômico, na procura de padrões nas sub-árvores relacionadas a processos evolutivos ou filogenômicos. No entanto, realizar a exploração e comparação de árvores de forma manual é inviável. Neste artigo foi desenvolvido um workflow científico de mineração de dados filogenômicos, o SciPhyloMiner, que apoia as comparações múltiplas de centenas ou milhares de árvores. A metodologia foi dividida em três etapas, com a etapa-1 geração de árvores, etapa-2 mineração de árvores e etapa-3 análise de árvores via consulta em bancos de dados de proveniência. Experimentos mostram que SciPhyloMiner permite a mineração de uma grande quantidade de árvores em ambientes de nuvem. Resultados de desempenho apresentam melhoras de até 94,54% no tempo de execução quando comparado com a execução sequencial, que cai de 4 dias para aproximadamente 4,85 horas.*

1. Introdução

O volume de dados genômicos disponíveis cresce em um ritmo acelerado devido às recentes melhorias nas ciências biológicas e na computação, *e.g.*, as tecnologias de sequenciamento de próxima geração (SPG) e computação de alto desempenho (CAD). Atualmente, um desafio para os bioinformatas na área da filogenia e filogenômica molecular é analisar o grande volume de dados biológicos gerados, uma vez que o conhecimento sobre processos evolutivos ou relações filogenéticas na atual era pós-genômica é inferido no nível de genomas (Chen *et al.*, 2012; Darling *et al.*, 2014; Ocaña e Dávila, 2011; Eisen, 2003).

A filogenômica utiliza princípios da filogenia molecular na análise evolutiva de dados genômicos. Experimentos filogenômicos produzem árvores e estatísticas utilizadas para inferir a história evolutiva das espécies (Eisen, 2003). Uma tarefa importante do domínio da filogenômica é explorar informações evolutivas contidas nessas árvores, mediante a exploração e identificação de características *i.e.*, padrões ou assinaturas que demonstrem a presença de determinado processo evolutivo (Eisen, 2003). Por exemplo, determinar quais são as sub-árvores frequentes (FST) em árvores filogenômicas de famílias de proteínas, *e.g.*, ortólogos universais (OU) (Ciccarelli *et al.*, 2006) pode confirmar que espécies muito relacionadas apresentam “assinaturas” filogenéticas similares em várias dessas árvores, indicando padrões ou forças seleção de

conservação semelhantes na evolução desses genes (Eisen, 2003). A identificação de tais padrões ajuda aos cientistas a estabelecer relações filogenéticas entre organismos, além de aceitar ou refutar hipóteses sobre a vida evolutiva desses genes ou genomas.

A procura de FST não é uma tarefa simples de ser analisada; ela pode envolver a comparação de centenas ou milhares de árvores (número que pode aumentar de acordo com a quantidade de genomas avaliados). Comumente, cientistas inferem esse conhecimento de forma manual. Entretanto, este processo é laborioso e propenso a erros, devido ao grande volume de dados. Acreditamos que técnicas de Mineração de Dados (MD) (Wang, 2005) são capazes de auxiliar os cientistas na extração de padrões e informações úteis desse grande volume de dados. Uma vez que tais técnicas são capazes de extrair conhecimento não trivial, implícito, previamente desconhecido e úteis dos dados (Wang, 2005). A identificação de FST em árvores filogenômicas utilizando algoritmos de MD pode potencialmente descobrir mecanismos genéticos subjacentes a uma doença, resumir regras de agrupamento para múltiplas sequências de DNA ou proteínas, *etc.*, que são problemas emergentes na área (Clark, 2006).

Experimentos científicos em larga escala que envolvem tarefas de MD em análises filogenômicas são comumente executados centenas ou milhares de vezes e a análise dos resultados deve considerar (e cruzar dados de) todas essas avaliações. Esses experimentos podem ser apoiados por técnicas como os *workflows* científicos (Taylor *et al.*, 2007) e sistemas de gerência de *workflows* científicos (SGWfC), responsáveis por executar tais *workflows*. Como muitos desses *workflows* são de larga escala, eles precisam ser executados em ambientes de CAD, o que insere mais uma complexidade. Outros *workflows* na área de bioinformática já foram propostos anteriormente (Ocaña *et al.*, 2014; Ocaña *et al.*, 2014; Ocaña *et al.*, 2013; Oliveira *et al.*, 2013), porém nenhum que focasse na mineração de árvores filogenômicas.

Este artigo propõe o SciPhyloMiner, um *workflow* científico para mineração de dados filogenômicos, que visa a identificação de padrões comuns *i.e.* FST nas topologias de árvores a nível genômico. O SciPhyloMiner estende um *workflow* já existente e consolidado (SciPhy) (Ocaña *et al.*, 2011). No SciPhyloMiner, as atividades do SciPhy permanecem, mas atividades específicas de mineração de dados são adicionadas. O SciPhyloMiner foi modelado e executado com o SGWfC SciCumulus (Oliveira *et al.*, 2010). O SciPhyloMiner permite que todas as árvores produzidas (formato Newick), assim como outros dados de proveniência sejam minerados e armazenados no banco de dados de proveniência do SciCumulus. Desta forma, o SciPhyloMiner permite a análise desses dados via consultas SQL ao banco. Assim, os cientistas são capazes, por exemplo, de rastrear a linhagem taxonômica de um táxon dentre várias árvores apenas consultando o banco de dados *e.g.*, determinando os nós filhos de um pai dentro de árvores ou pesquisando sub-árvores compartilhadas entre diferentes árvores. Na avaliação da abordagem proposta, analisamos um conjunto de 800 árvores filogenéticas de genes e de protozoários; as quais foram construídas com 4 programas de filogenia diferentes; dados contidos nessas árvores foram minerados e a presença de FST foi realizada em uma análise a nível filogenômico.

Esse artigo está organizado em 5 seções, além desta introdução. A Seção 2 discute os trabalhos relacionados. A Seção 3 apresenta o SciPhyloMiner. A Seção 4 apresenta a análise dos resultados experimentais. Finalmente, a Seção 5 conclui o artigo.

2. Trabalhos Relacionados

No melhor de nosso conhecimento, não existem *workflows* que propõem aplicação de técnicas de MD em árvores filogenômicas de forma estruturada. Dessa forma, apresentamos aplicações existentes que mineram árvores filogenômicas e que facilmente poderiam ser incorporadas ao SciPhyloMiner. Um dos algoritmos mais usados na identificação de padrões comuns, o FST, foi implementado pelo algoritmo Evominer (Deepak *et al.*, 2014), acoplado ao *workflow* SciPhyloMiner. Deepak *et al.* (2014) apresentam uma revisão sobre os métodos mais usados na identificação da informação filogenética. Dentre deles, o TreeMiner, o FREQT, o Chopper e XSpanner, o Unot, o uFrequ, o CMTreeMiner, o DRYADE, o Phylominer e o HybridTreeMiner. Nessa revisão, os autores afirmam que o único algoritmo de código acessível foi o Phylominer, que e foi usado para as comparações de desempenho, onde o Evominer se mostrou 100 vezes mais rápido.

O PhyloFinder (Chen *et al.*, 2008) é uma aplicação baseada na *Web* para a procura de árvores em banco de dados (TreeBASE); a entrada é uma árvore que é comparada contra o TreeBase via consulta por palavra-chave ou nome do táxon, podendo navegar pelos ancestrais e filhos desse táxon. O PhyloSift (Darling *et al.*, 2014) é uma ferramenta para análises filogenéticas em genomas focado na anotação e análise funcional e taxonômica de metagenomas. O EnsemblCompara GeneTrees (Vilella *et al.*, 2009) é um *pipeline* computacional para agrupamento, Alinhamento Múltiplo de Sequência (AMS) e geração de árvore, incluindo o tratamento de grandes famílias de genes.

3. Abordagem Proposta: o SciPhyloMiner

O SciPhyloMiner é um *workflow* para análise de árvores filogenômicas baseado em técnicas de MD. Ele é composto por 9 atividades principais, distribuídas em três *sub-workflows*, como apresentado na Figura 1. O primeiro *sub-workflow* de filogenia, o SciPhy (Ocaña *et al.*, 2011), tem 4 atividades: (1) construção de AMS, (2) conversão de AMS para o formato PHYLIP, (3) eleição do melhor modelo evolutivo, e (4) construção das árvores filogenéticas. Os programas que executam respectivamente essas atividades são MAFFT, ReadSeq, ModelGenerator e RAxML. Na atividade de construção de árvores, o SciPhyloMiner utiliza outros 3 programas: PhyML, Garli e MrBayes. As árvores filogenéticas produzidas são usadas como entrada para a mineração de dados filogenômicos nos *sub-workflows* que se seguem, que usam como principal programa o Dendropy. O *sub-workflow* 2 é composto pelas atividades (5) junção de árvores para redução, (6) mineração de árvores e (7) representação de FST. O *sub-workflow* 3 realiza tanto a mineração quanto a análise dos dados com as atividades (8) junção de árvores para análise sintática e (9) análise sintática de árvores para representação. A seguir detalhamos cada uma das atividades do SciPhyloMiner.

A atividade 1 recebe o arquivo multi-fasta e constrói o AMS com o MAFFT. A atividade 2 executa o ReadSeq para converter o AMS ao formato PHYLIP. A atividade 3 executa o ModelGenerator para a escolha do melhor modelo evolutivo. A atividade 4 é responsável pela construção das árvores usando algoritmos de máxima verossimilhança (MV) com o RAxML, PhyML e Garli e inferência Bayesiana (IB) com o MrBayes (outros programas como Phylip, Weighbor, Beast, *etc.*, podem também ser acoplados). Esta atividade usa como entrada tanto o modelo evolutivo do ModelGenerator quanto o AMS do MAFFT.

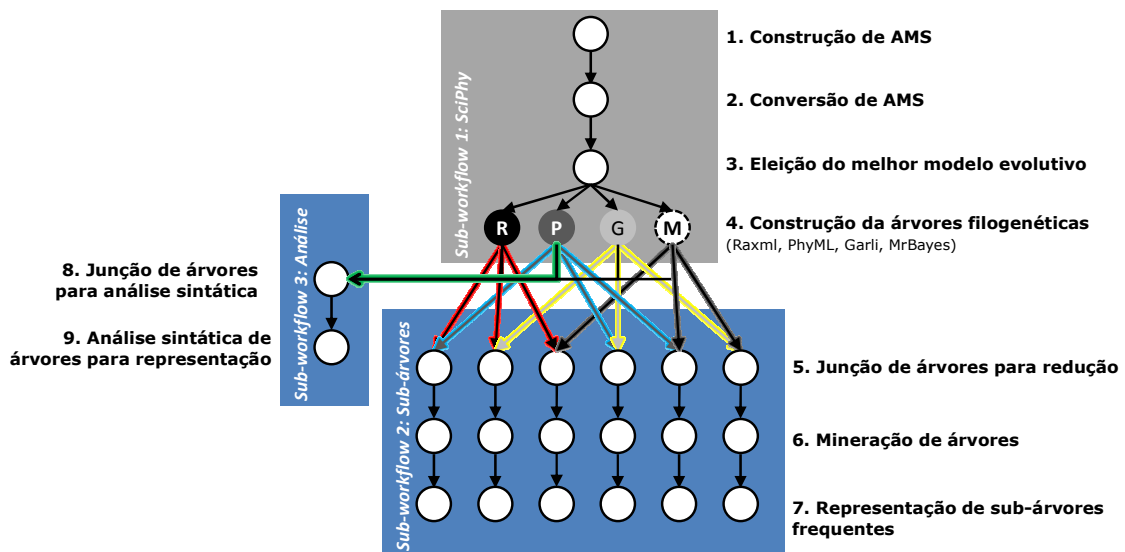


Figura 1. Especificação Conceitual do SciPhyloMiner

No SciPhyloMiner, cada uma das atividades de filogenia é executada em paralelo para cada entrada (arquivo multi-fasta). Mas o mapeamento, comparação de todos os programas e a junção/filtragem de resultados não é uma tarefa trivial de ser realizada, pois é necessário realizar uma combinação 2 a 2 entre todos os métodos de geração de árvores filogenéticas (*shuffle*). Assim, consultas SQL ao banco de proveniência do SciCumulus (para atividades dos *sub-workflows* 2 e 3) apoiam essas tarefas. Por exemplo, para cada arquivo de entrada multi-fasta processados com 4 programas filogenéticos (R: RAXML, P: PhyML, G: Garli e M: MrBayes), como descrito na Figura 1, será gerado um total de 6 comparações. Então, para o nosso conjunto de dados de 200 arquivos multi-fasta de entrada, 800 árvores filogenômicas finais de consenso são comparadas (uma para cada programa filogenético). No total, 1.200 comparações são realizadas entre essas árvores, gerando 1.200 arquivos intermediários com estatísticas. Neste trabalho consideramos somente as árvores obtidas ao final da execução do experimento. Entretanto, muitos outros arquivos, como árvores intermediárias e arquivos com estatísticas, também são gerados, e que embora não sejam minerados, podem conter informações úteis para o bioinformata que ajudem a reforçar uma análise.

Na atividade 5, todos os arquivos com árvores filogenéticas são mapeados e organizados aos pares em uma tabela que facilita futuras consultas de dados de domínio, usada pela atividade 6. A atividade 6 executa o programa Dendropy v4.0 usando Python 2.7 e os algoritmos de MD *fingerprint* (Karp e Rabin, 1987) e Evominer (Deepak *et al.*, 2014). O *fingerprint* trata as folhas das árvores como uma *string*. Os *fingerprints* de cada sub-árvore são classificados “frequentes” em uma tabela *hash*, o que facilita a contagem e verifica a frequência mínima das sub-árvores candidatas em uma árvore de k folhas. O Evominer lê cada tabela contendo os pares de árvores, calcula a FST e gera dois arquivos, o *totalFST* com a quantidade de folhas sobrepostas em todas as árvores e o *maxFST* com o valor máximo de folhas sobrepostas em todas as árvores. A frequência mínima requerida para o cálculo de FST foi fixado neste artigo com o padrão de 0,5.

A atividade 7 é responsável por transformar o formato Newick das árvores filogenéticas em um formato tabular. O formato tabular é, então, armazenado e

consultado no banco de dados, tornando a tabela compreensível também para os cientistas, conforme ilustrado na figura 3. As atividades finais 8 e 9 podem ser usadas em outros processos como na análise estatística ou visualização que exigem tratar e explorar árvores; a atividade 8 analisa árvores e a atividade 9 representa as árvores por meio de tabelas.

4. Avaliação Experimental

Esta seção, apresenta uma avaliação dos resultados obtidos pela nas execuções do SciPhyloMiner, tanto sob a perspectiva biológica quanto no aspecto computacional. Do ponto de vista biológico, destacamos o uso e vantagens na exploração de topologias de árvores em um conjunto de genes denominados ortólogos universais (OU) presentes em genomas protozoários (Ocaña e Dávila, 2011). O objetivo é detectar as FST apresentadas nas árvores que podem sugerir uma assinatura filogenética representativa de tais genes. Esta informação é útil para a categorização de novas espécies de protozoários que possam ser sequenciados por metodologias genômicas/metagenômicas. Do ponto de vista computacional, analisamos o desempenho da execução paralela do SciPhyloMiner usando SciCumulus em nuvens de computadores. Implementamos todas as aplicações de bioinformática MAFFT, ReadSeq, RAxML, PhyML, Garli, MrBayes, Dendropy, bibliotecas e componentes do SciCumulus no ambiente do Amazon EC2.

A Amazon EC2 fornece diferentes tipos de máquinas virtuais (VM). A VM c3.8xlarge (60 GB de RAM, 32 núcleos) foi a escolhida para as execuções do *workflow*. Esta VM usa o Linux Cent OS 5 (64 bits) como sistema operacional e foi configurada com os programas de bioinformática e bibliotecas necessários. Além de permitir o acesso via SSH. A imagem utilizada na VM em questão foi a ami-2579d333, a qual está disponibilizada na nuvem.

Para executar SciPhyloMiner em paralelo, nossos experimentos usam como entrada um conjunto de dados de arquivos multi-*fasta* de sequências de proteínas extraídas do NCBI (Ocaña e Dávila, 2011). Este conjunto de dados é formado por 200 arquivos multi-*fasta*, cada arquivo relacionado a um determinado gene OU encontrado nas diferentes espécies de genomas de protozoários. Para realizar a análise filogenômica, cada arquivo multi-*fasta* é processado usando as seguintes versões dos programas: MAFFT versão 6.857, ReadSeq versão 2.1.26, ModelGenerator versão 0.85, RAxML-7.2.8-ALPHA, PhyML 3.1, Garli 2.0.1.1067, MrBayes v3.2.6 x64 e Dendropy v4.0 com Python 2.7.

A Figura 2 apresenta as árvores construídas com os programas de filogenia PhyML, RAxML, Garli e MrBayes. T1-T4 mostram as topologias das árvores filogenéticas visualizadas no programa Mega. A Figura 3 apresenta o formato de tabela legível que pode ser armazenada e consultada via SQL no banco de proveniência do SciCumulus. O gene analisado apresenta árvores muito semelhantes (de T1 a T4) baseado na topologia, comprimento de ramos nas árvores, o *bootstrap* e a probabilidade *a posteriori*. O comprimento do ramo se refere à quantidade de mudanças genéticas ou tempo decorrido. O *bootstrap* e a probabilidade *a posteriori* são técnicas estatísticas de confiabilidade das estimativas das relações evolutivas corretas. Neste trabalho, eles apresentaram valores altos (>95) indicando relações consistentes entre os táxons.

Em relação à avaliação de desempenho do *workflow*, executamos o SciPhyloMiner com o SciCumulus na nuvem da Amazon EC2. Primeiramente, medimos o desempenho do SciPhyloMiner quando executado em uma VM com um

núcleo para medir a otimização local antes de aumentar o número de núcleos. A seguir, medimos o desempenho do SciPhyloMiner com uma VMs c3.8xlarge, que possui 32 núcleos virtuais.

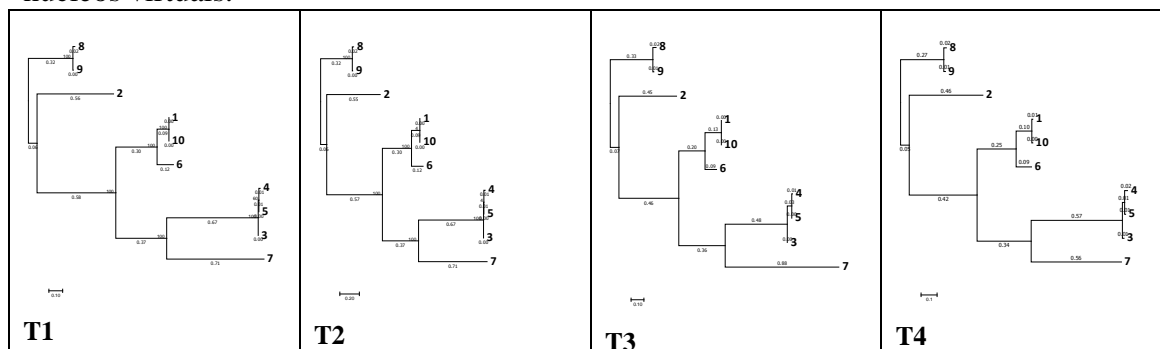


Figura 2. Representação de árvores

```

[jesus@ip-10-141-141-104 0]# more ORTHOMCL337_ORTHOMCL337_1.treetable
0.5 ORTHOMCL337_ORTHOMCL337_1_ORTHOMCL337_ORTHOMCL337_1_maxFST.evominer.tree_0      3      15      11
0.5 ORTHOMCL337_ORTHOMCL337_1_ORTHOMCL337_ORTHOMCL337_1_maxFST.evominer.tree_0      None  2      1
0.5 ORTHOMCL337_ORTHOMCL337_1_ORTHOMCL337_ORTHOMCL337_1_maxFST.evominer.tree_0      8      3      1
0.5 ORTHOMCL337_ORTHOMCL337_1_ORTHOMCL337_ORTHOMCL337_1_maxFST.evominer.tree_0      1      13      9
0.5 ORTHOMCL337_ORTHOMCL337_1_ORTHOMCL337_ORTHOMCL337_1_maxFST.evominer.tree_0      5      16      16
0.5 ORTHOMCL337_ORTHOMCL337_1_ORTHOMCL337_ORTHOMCL337_1_maxFST.evominer.tree_0      9      4      1
0.5 ORTHOMCL337_ORTHOMCL337_1_ORTHOMCL337_ORTHOMCL337_1_maxFST.evominer.tree_0      10     14      9
0.5 ORTHOMCL337_ORTHOMCL337_1_ORTHOMCL337_ORTHOMCL337_1_maxFST.evominer.tree_0      None  16     11
0.5 ORTHOMCL337_ORTHOMCL337_1_ORTHOMCL337_ORTHOMCL337_1_maxFST.evominer.tree_0      None  1      None
0.5 ORTHOMCL337_ORTHOMCL337_1_ORTHOMCL337_ORTHOMCL337_1_maxFST.evominer.tree_0      6      10      7
0.5 ORTHOMCL337_ORTHOMCL337_1_ORTHOMCL337_ORTHOMCL337_1_maxFST.evominer.tree_0      4      17     16
0.5 ORTHOMCL337_ORTHOMCL337_1_ORTHOMCL337_ORTHOMCL337_1_maxFST.evominer.tree_0      None  9      7
0.5 ORTHOMCL337_ORTHOMCL337_1_ORTHOMCL337_ORTHOMCL337_1_maxFST.evominer.tree_0      7      12      8
0.5 ORTHOMCL337_ORTHOMCL337_1_ORTHOMCL337_ORTHOMCL337_1_maxFST.evominer.tree_0      None  11      8
0.5 ORTHOMCL337_ORTHOMCL337_1_ORTHOMCL337_ORTHOMCL337_1_maxFST.evominer.tree_0      None  8      5
0.5 ORTHOMCL337_ORTHOMCL337_1_ORTHOMCL337_ORTHOMCL337_1_maxFST.evominer.tree_0      None  5      2
0.5 ORTHOMCL337_ORTHOMCL337_1_ORTHOMCL337_ORTHOMCL337_1_maxFST.evominer.tree_0      2      6      2
0.5 ORTHOMCL337_ORTHOMCL337_1_ORTHOMCL337_ORTHOMCL337_1_maxFST.evominer.tree_0      None  7      5

```

Figura 3 Representação de uma árvore em forma de tabela

Na Figura 4 são apresentadas as medições do tempo de execução total (TET) em horas de SciPhyloMiner. Esse tempo diminuiu, em todos os casos, quando o SciCumulus permite que mais núcleos sejam utilizados na execução. Por exemplo, o TET foi reduzido de 88,90 horas (usando um único núcleo virtual) para 4,85 horas (usando 32 núcleos virtuais), o que significa melhorias de desempenho de até 94,54%. Para avaliar o comportamento do ganho de desempenho de acordo com o número de *cores*, utilizamos a métrica de *speedup*. A execução do SciPhyloMiner usando 16 núcleos virtuais levou a um *speedup* de 14,39.

Além da análise de desempenho e biológica, realizamos consultas analíticas na base que permitem ao cientista consultar de fato o resultado da mineração. A Tabela 1 apresenta uma consulta que calcula o número máximo de FST encontrados pela comparação de todos os programas de filogenia (A) e o resultado dessa consulta (B), usando uma entrada de gene OU. O interessante deste resultado é a diferença entre os programas PhyML *versus* Garli (ambos baseados no algoritmo MV), o mesmo comportamento foi obtido para as demais entradas (OU). Enquanto todas as outras comparações convergiram em um valor FST 2, o *phyml_garli* apresentou FST 1. Este resultado leva ao especialista levantar possíveis causas que levaram a estes diferentes valores *e.g.*, características biológicas das entradas ou a parametrização/programa. Podemos afirmar baseados nos dados obtidos neste experimento, que esses dois programas foram os que mais divergiram. Uma causa pode estar relacionada à otimização e refinamento que o próprio algoritmo dentro do Garli faz na parte da procura de topologias, o que é calculado e configurado de uma maneira mais simples no PhyML. Mas por outro lado, se o objetivo é uma análise exploratória, a eleição do PhyML pode se tornar uma boa alternativa, devido à rapidez na execução, especialmente na reconstrução de árvores muito grandes.

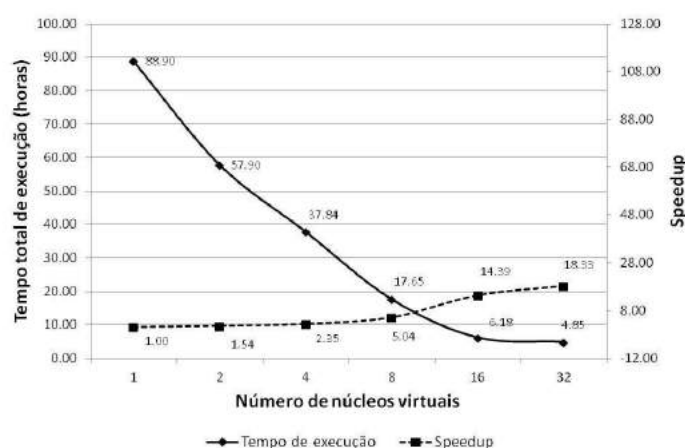


Figura 4. Tempo total de execução e *speedup* do *workflow* SciPhyloMiner

Tabela 1 Consulta (A) e resultado da consulta (B) de sub-árvores frequentes (FST)

<pre>SELECT ewf.tagexec, evocount.maximum_fsts FROM (SELECT ev.ewkfid, count(*) as maximum_fsts FROM (SELECT distinct evo.ewkfid, evo.tree_reference FROM sciphytreaminer.oevotreeparser_{metodo1_metodo2} as evo) as ev GROUP BY ev.ewkfid) as evocount inner join workflow as ewf on ewf.ewkfid = evocount.ewkfid</pre>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Programas</th> <th>Tagexec</th> <th>Max. FST</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><i>mr bayes garli</i></td> <td>lwf treeminer</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td><i>ph yml garli</i></td> <td>lwf treeminer</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td><i>ph yml mr bayes</i></td> <td>lwf treeminer</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td><i>rax ml garli</i></td> <td>lwf treeminer</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td><i>rax ml mr bayes</i></td> <td>lwf treeminer</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td><i>rax ml ph yml</i></td> <td>lwf treeminer</td> <td>2</td> </tr> </tbody> </table>	Programas	Tagexec	Max. FST	<i>mr bayes garli</i>	lwf treeminer	2	<i>ph yml garli</i>	lwf treeminer	1	<i>ph yml mr bayes</i>	lwf treeminer	2	<i>rax ml garli</i>	lwf treeminer	2	<i>rax ml mr bayes</i>	lwf treeminer	2	<i>rax ml ph yml</i>	lwf treeminer	2
Programas	Tagexec	Max. FST																				
<i>mr bayes garli</i>	lwf treeminer	2																				
<i>ph yml garli</i>	lwf treeminer	1																				
<i>ph yml mr bayes</i>	lwf treeminer	2																				
<i>rax ml garli</i>	lwf treeminer	2																				
<i>rax ml mr bayes</i>	lwf treeminer	2																				
<i>rax ml ph yml</i>	lwf treeminer	2																				

5. Conclusões

Neste artigo, apresentamos um experimento de mineração de dados filogenômicos modelados no *workflow* científico SciPhyloMiner que foi executado em um ambiente de nuvem pública (Amazon EC2) usando o SciCumulus para fornecer as capacidades de paralelismo necessárias. Por meio do acoplamento de *workflows* científicos, SGWfC e abordagens especializadas para paralelizar os *workflows*, o SciPhyloMiner permite: (i) gerenciar os experimentos de mineração para filogenômica, (ii) extrair e consultar a proveniência de dados do experimento, com foco em topologias de árvores e (iii) se beneficiar do poder de processamento das nuvens.

O desempenho e a escalabilidade da execução do SciPhyloMiner envolveram milhares de tarefas e arquivos de dados do experimento. Analisando o desempenho geral, podemos afirmar que o desempenho do *workflow* melhorou em até 94,54% quando comparado a uma execução sequencial do mesmo. A análise de *speedup* mostrou que quando aumentamos o número de MVs, o *speedup* também aumentou com uma leve degradação (aceitável). No entanto, o custo/benefício de adicionar MVs precisa considerar vários aspectos, como o número e características das atividades do *workflow* a serem executadas, o custo monetário e os ganhos esperados.

Agradecimentos. Os autores gostariam de agradecer ao CNPq e FAPERJ pelo financiamento parcial deste trabalho.

Referências Bibliográficas

- Chen, D., Burleigh, J.G., Bansal, M.S., Fernández-Baca, D., 2008. PhyloFinder: An intelligent search engine for phylogenetic tree databases. BMC Evolutionary Biology 8, 90.
- Chen, M., Zou, M., Yang, L., He, S., 2012. Basal Jawed Vertebrate Phylogenomics Using Transcriptomic Data from Solexa Sequencing. PLoS ONE 7, e36256.

- Ciccarelli, F.D., Doerks, T., von Mering, C., Creevey, C.J., Snel, B., Bork, P., 2006. Toward automatic reconstruction of a highly resolved tree of life. *Science* 311, 1283–1287.
- Clark, A.G., 2006. Genomics of the evolutionary process. *Trends in Ecology & Evolution* 21, 316–321.
- Darling, A.E., Jospin, G., Lowe, E., Matsen, F.A., Bik, H.M., Eisen, J.A., 2014. PhyloSift: phylogenetic analysis of genomes and metagenomes. *PeerJ* 2, e243.
- Dávila, Kary A. C. S. Ocaña, 2011. Phylogenomics-Based Reconstruction of Protozoan Species Tree. *EBO* 107.
- Deepak, A., Fernández-Baca, D., Tirthapura, S., Sanderson, M.J., McMahon, M.M., 2014. EvoMiner: frequent subtree mining in phylogenetic databases. *Knowledge and Information Systems* 41, 559–590.
- Eisen, J.A., 2003. Phylogenomics: Intersection of Evolution and Genomics. *Science* 300, 1706–1707.
- Karp, R.M., Rabin, M.O., 1987. Efficient randomized pattern-matching algorithms. *IBM Journal of Research and Development* 31, 249–260.
- Ocaña, K., Benza, S., Oliveira, D., Dias, J., Mattoso, M., 2014. Exploring Large Scale Receptor-Ligand Pairs in Molecular Docking Workflows in HPC Clouds, in: *IEEE 28th International Parallel & Distributed Processing Symposium Workshops (HiComb 2014)*. IPDPS, Phoenix, Arizona, USA, pp. 536–545.
- Ocaña, K.A.C.S., de Oliveira, D., Dias, J., Ogasawara, E., Mattoso, M., 2013. Designing a parallel cloud based comparative genomics workflow to improve phylogenetic analyses. *Future Generation Computer Systems* 29, 2205–2219.
- Ocaña, K.A.C.S., Oliveira, D., Silva, V., Benza, S., Mattoso, M.L.Q., 2014. Exploiting the Parallel Execution of Homology Workflow Variants in HPC Compute Clouds, in: *4th International Workshop on Cloud Computing and Scientific Applications (CCSA 2014)*, France.
- Ocaña, K., Oliveira, D. de, Ogasawara, E., Dávila, A., Lima, A., Mattoso, M., 2011. SciPhy: A Cloud-Based Workflow for Phylogenetic Analysis of Drug Targets in Protozoan Genomes, *Adv. Bioinformatics Computational Biology, LNCS*. Springer, pp. 66–70.
- Oliveira, D., Ocaña, K.A.C.S., Ogasawara, E., Dias, J., Gonçalves, J., Baião, F., Mattoso, M., 2013. Performance evaluation of parallel strategies in public clouds: A study with phylogenomic workflows. *Future Generation Computer Systems* 29, 1816–1825.
- Oliveira, D., Ogasawara, E., Baião, F., Mattoso, M., 2010. SciCumulus: A Lightweight Cloud Middleware to Explore Many Task Computing Paradigm in Scientific Workflows, *International Conference on Cloud Computing*. Washington, DC, USA, pp. 378–385.
- Taylor, I.J., Deelman, E., Gannon, D.B., Shields, M., 2007. *Workflows for e-Science: Scientific Workflows for Grids*, 1st ed. Springer.
- Vilella, A.J., Severin, J., Ureta-Vidal, A., Heng, L., Durbin, R., Birney, E., 2009. EnsemblCompara GeneTrees: Complete, duplication-aware phylogenetic trees in vertebrates. *Genome Res.* 19, 327–335.
- Wang, J.T.L., 2005. *Data mining in bioinformatics*. Springer, London.

Método computacional baseado em workflow para contabilização da frequência de repetição de *k-mers*

Fabício Vilasbôas¹, Carla Osthoff¹, Kary Ocaña¹, Oswaldo Trelles², Ana Tereza Vasconcelos¹

¹Laboratório Nacional de Computação Científica (LNCC)

²Universidad de Málaga

Resumo. Este trabalho apresenta uma análise do desempenho do **SCFRK**, um algoritmo determinístico para uma aplicação de bioinformática computacionalmente intensiva, o *k-mer*, para uma arquitetura GPGPU em um ambiente de workflow científico. Nossos experimentos demonstram que o **SCFRK** é uma alternativa eficiente e de baixo custo para a contabilização de *k-mers* para análises em metagenoma.

1. Introdução

O advento de novas tecnologias de sequenciamento na área de bioinformática está fazendo com que o gargalo migre da aquisição de dados para o processamento e interpretação dos mesmos. Por outro lado, novas tecnologias de processamento de alto desempenho de baixo custo tais como processadores gráficos, *GPU's* [Kirk and Wen-meï 2012], podem ser utilizadas para aumentar a taxa de processamento dos dados.

Em recentes trabalhos, [Vilasboas et al. 2015] e [Vilasboas et al. 2016], foi apresentado o algoritmo **CFRK**, desenvolvido para a contabilização da frequência de repetição de *k-mers* em ambiente *GPU* que apresenta bom desempenho para aplicações com valores de *k* menor ou igual a 5, tal como metagenoma. Neste trabalho apresentamos a avaliação de desempenho do **CFRK** em um ambiente de *workflow* científico, o *Swift*, um *SWfMS* (*Scientific Workflow Management Systems*) contendo *GPU's*. Na Seção 2 apresentamos os trabalhos relacionados. Na Seção 3 apresentamos a descrição do **SCFRK**. Na Seção 4 apresentamos os experimentos e os resultados. Na Seção 5 apresentamos as conclusões e os trabalhos futuros.

2. Trabalhos relacionados

Nesta seção relacionaremos o algoritmo **SCFRK** com o **Jellyfish**, um algoritmo desenvolvido para processamento de *k-mers* e que é considerado o estado da arte nesta tarefa.

O **Jellyfish** [Marçais and Kingsford 2011] é um algoritmo para contabilização da frequência de repetição de *k-mers* específico para genomas desenvolvido para processamento em memória compartilhada. Ele utiliza várias estruturas *lock-free*, que são estruturas que permitem operações atômicas sem o bloqueio da memória e, por isso, não degradam o desempenho em ambientes multiprocessáveis. A diferença mais importante entre os algoritmos **Jellyfish** e **SCFRK** é que o **SCFRK** foi desenvolvido para o processamento de metagenoma, enquanto o **Jellyfish** foi feito para o processamento de genoma. O

Jellyfish considera todos os *reads* como provenientes de um mesmo organismo, o **SCFRK** considera cada *read* como sendo de organismos distintos. Isso permite que o **SCFRK** seja de propósito mais geral.

3. SCFRK

SCFRK é o acrônimo de *Swift* - Contabilizador da Frequência de Repetição de **K**-mers, pois foi desenvolvido utilizando os recursos do *Swift*.

A execução do **SCFRK** é dividida em duas fases bem definidas: o pré-processamento e o processamento. Na fase de pré-processamento é realizada a divisão do arquivo que contém os *reads*. É utilizado uma aplicação em linguagem C que realiza o particionamento do arquivo em N partes iguais, onde N é um valor definido pelo usuário. Na fase de processamento, o **SCFRK** é responsável pelas chamadas ao **CFRK**. É fornecido para cada processo a localização do arquivo de entrada e do arquivo de saída. Ao final do processamento, os arquivos de saída são escritos em disco.

A principal motivação para o desenvolvimento do **SCFRK** se deve à limitação da execução do **CFRK** para arquivos de entrada com tamanho igual ou superior ao tamanho da memória principal da estação de trabalho em uso. Ao ler um arquivo de entrada de tamanho igual ou superior ao tamanho da memória principal, a estação de trabalho poderá entrar em processo de paginação ou poderá entrar em colapso se não houver espaço em disco para a paginação. Esta estratégia de paralelismo permite a divisão do arquivo de entrada em arquivos que sejam do tamanho adequado para o processamento na estação de trabalho.

4. Experimentos

Nesta seção serão apresentados os experimentos e resultados da execução do **SCFRK**, bem como algumas comparações com o algoritmo **Jellyfish**.

4.1. Ambiente de teste

Para os testes foram utilizados quatro nós da *cluster Altix-Xe* do CENA-PAD/LNCC. Cada nó possui dois processadores Intel(R) Xeon(R) CPU E5-2660 0 @ 2.20GHz com 8 núcleos cada processador e uma *GPU Nvidia Tesla K20m* com 5 GB de memória *RAM* e 2496 núcleos. O sistema operacional utilizado foi o CetOS, *kernel* versão 2.6.32-573.7.1.el6.x86_64.

O arquivo de entrada utilizado foi uma amostra de metagenoma de um ambiente real obtida no banco de dados SRA do NCBI (*National Center for Biotechnology Information*), cujo ID nesta base de dados é SRX2021688. Este arquivo contém 8.7GB de dados e 27017895 *reads*.

4.2. Resultados

Os experimentos consistiram em executar os algoritmos **SCFRK** e **Jellyfish** com o mesmo conjunto de dados. Os valores de *k* foram selecionados baseados em trabalhos anteriores [Vilasboas et al. 2015] que demonstraram que o **CFRK** apresenta ganho em relação ao **Jellyfish** para valores de *k* < 5. O tempo total de execução foi obtido através do comando *time* do linux, sendo considerado apenas o tempo real. Para este trabalho foi

considerado apenas o tempo da fase de processamento do **SCFRK**, pois o foco da análise é a execução do módulo desenvolvido utilizando o *Swift* e o **Jellyfish** não possui a etapa de divisão do arquivo. Cada processo lançado para a execução do *workflow* receberá o nome de *worker*.

Para o algoritmo **SCFRK** foram utilizados: dois nós com um *worker* por nó; três nós com um *worker* por nó; quatro nós com um *worker* por nó; e quatro nós com dois *workers* por nó. Para o **Jellyfish** foi utilizado um nó com oito *threads*.

A Figura 1 apresenta o tempo total de execução dos algoritmos **Jellyfish** e **SCFRK**. As barras em azul apresentam o tempo total de execução do **Jellyfish** para $k = 2, 3, 4, 5$. As barras em laranja apresentem o tempo de execução do **SCFRK** com 2 *workers* para $k = 2, 3, 4$. As barras em amarelo apresentem o tempo de execução do **SCFRK** com 3 *workers* para $k = 2, 3, 4, 5$. As barras em verde apresentem o tempo de execução do **SCFRK** com 4 *workers* para $k = 2, 3, 4, 5$. As barras em vinho apresentem o tempo de execução do **SCFRK** com 8 *workers* para $k = 2, 3, 4, 5$.

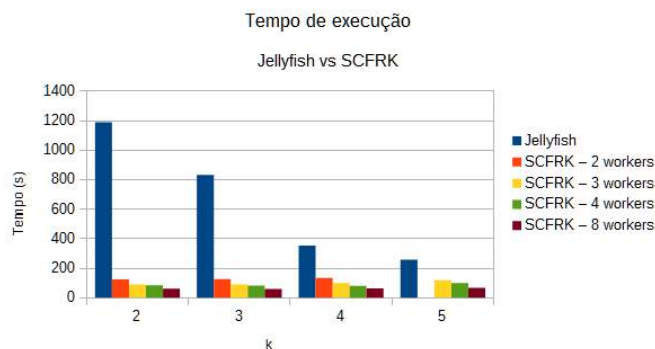


Figure 1. Tempo de execução dos algoritmos SCFRK e Jellyfish

A Figura 2 apresentam o ganho obtido pelo **SCFRK** em relação ao **Jellyfish**. A linha em azul apresenta o ganho do **SCFRK** utilizando 2 *workers*. A linha em laranja apresenta o ganho do **SCFRK** utilizando 3 *workers*. A linha em amarelo apresenta o ganho do **SCFRK** utilizando 4 *workers*. A linha em verde apresenta o ganho do **SCFRK** utilizando 8 *workers*.

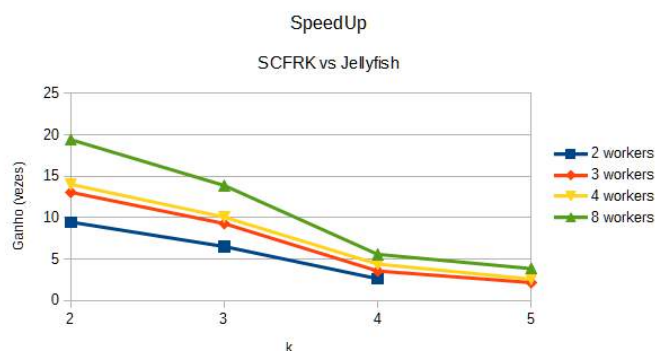


Figure 2. Ganho obtido pelo SCFRK em relação ao Jellyfish

4.3. Discussão do resultado

Ao observar a Figura 1 vemos que o **SCFRK** apresenta um menor tempo de execução em relação ao **Jellyfish** para todos os casos. Observamos que o tempo de execução de **SCFRK** se mantém praticamente constante com o aumento do valor de k . Isso acontece por conta da característica do algoritmo **CFRK** que processa todas as combinações de forma independente e, dessa forma, mais *threads* são ativadas e aumenta a ocupação da *GPU*. Outra observação é em relação ao tempo de execução do **Jellyfish**. Vemos que a medida que o valor de k aumenta o tempo de execução decai. Isto acontece porque o **Jellyfish** foi desenvolvido para o processamento de um genoma, ou seja, ele considera todos os *reads* como pertencentes a um mesmo organismo. O **Jellyfish** aloca um único vetor global para contabilizar a frequência de repetição dos k -mers de todos os *reads*. Portanto, a medida que o valor de k aumenta ele manipula menos a memória, dado que o número de possíveis combinações decai com o aumento do valor de k .

A Figura 2 mostra que para $k = 2$ o menor ganho do **SCFRK** foi de 9.4 vezes com 2 *workers* e o maior ganho foi de 19.4 vezes com 8 *workers*. Para $k = 3$ observamos que o menor ganho foi de 6.5 vezes com 2 *workers* e o maior ganho foi de 13.9 com 8 *workers*. Para $k = 4$ temos que o menor ganho foi de 2.6 vezes com 2 *workers* e o maior ganho foi de 5.5 vezes com 8 *workers*. Para $k = 5$ o menor ganho foi de 2.2 vezes com 3 *workers* e o maior ganho foi de 3.8 vezes com 8 *workers*.

5. Conclusão e trabalhos futuros

Neste trabalho foi apresentado o **SCFRK**, uma variação do algoritmo **CFRK** utilizando o gerenciador de *workflow* científico *Swift*. Mostramos que o **SCFRK** apresenta bom desempenho com ganho máximo de 19.4 vezes para $k = 2$ com 8 *workers* e ganho mínimo de 2.2 vezes com 3 *workers* para $k = 5$ em relação ao **Jellyfish** e que é uma opção viável para a contabilização de k -mers menores que 5 em aplicações tais como de metagenoma em ambientes de *workflow* científico com *GPU*'s. Como trabalhos futuros pretendemos avaliar o desempenho com grandes bases de dados em ambientes computacionais que permitam implementar um grande número de *workers*, tal como o supercomputador *SDumont*.

References

- Foster, I. (1994). Task parallelism and high-performance languages. *IEEE Parallel & Distributed Technology: Systems & Technology*, 2(3):27–36.
- Kirk, D. B. and Wen-meí, W. H. (2012). *Programming massively parallel processors: a hands-on approach*. Newnes.
- Marçais, G. and Kingsford, C. (2011). A fast, lock-free approach for efficient parallel counting of occurrences of k -mers. *Bioinformatics (Oxford, England)*, 27(6):764–70.
- Vilasboas, F., Osthoff, C., Trelles, O., and Vasconcelos, A. T. (2015). Desenvolvimento de um algoritmo paralelo para contabilização da repetição de k -mers. *3ª Conferência Ibero Americana de Computação Aplicada 2015*.
- Vilasboas, F., Osthoff, C., Trelles, O., and Vasconcelos, A. T. (2016). Otimização de um algoritmo paralelo para contabilização da repetição de k -mers. *II Escola Regional de Computação de Alto Desempenho do Rio de Janeiro*.

11° WIT - Women in Information Technology

Apresentação

O Women in Information Technology (WIT) é uma iniciativa da SBC para discutir os assuntos relacionados a questões de gênero em Tecnologia de Informação (TI) no Brasil – histórias de sucesso, políticas de incentivo e formas de engajamento e atração de jovens, especialmente mulheres, para as carreiras associadas à TI. Organizado na forma de palestras convidadas e painéis, o workshop é centrado em debater problemas relacionados à mulher e ao seu acesso à TI, tanto do ponto de vista de mercado de trabalho quanto de inclusão e alfabetização digital. Os temas abordados se concentram na necessidade de educar, recrutar e treinar mulheres, como uma política estratégica para o desenvolvimento e competitividade nacional e regional.

O Fórum Meninas Digitais faz parte das atividades do WIT desde 2011 e é uma das ações do Programa Meninas Digitais da SBC. Tal Programa é direcionado às alunas do ensino fundamental, médio e tecnológico, para que conheçam melhor a área de informática e das Tecnologias da Informação e Comunicação, de forma a motivá-las a seguir carreira nessas áreas. Durante o evento os multiplicadores desta proposta aproveitam a oportunidade para discutir projetos e parcerias, de forma a disseminar esta ideia no território nacional.

Comitê Organizador

Coordenação Geral WIT

Sílvia Amélia Bim (UTFPR), Tanara Lauschner (UFAM)

Coordenação Local WIT e Fórum Meninas Digitais

Ana Cristina dos Santos (Mackenzie)

Coordenação Geral Fórum Meninas Digitais

Cristiano Maciel (UFMT), Karen Figueiredo (UFMT)

Comitê de Organização

Cláudia Motta (UFRJ), Érica Calil Nogueira (UFRJ)

Coordenação da Chamada de Trabalhos WIT + Meninas Digitais

Claudia Cappelli (UNIRIO), Luciana Salgado (UFF)

Comitê de Programa WIT + Meninas Digitais

Aline Paes (UFF), Carla Leitão (PUC-Rio), Carlos Silla (PUCPR), Christiane Heemann (UNIVALI), Cláudia Melo (UnB), Cláudia Nalon (UnB), Cristiano Maciel (UFMT), Ecivaldo Matos (UFBA), Fabíola Guerra Nakamura (UFAM), Fabiana Mendes (UnB), Fernanda Cunha (UNIVALI), Idalmis Milián Sardiña (UFRN), José Viterbo (UFF), , Juliana Freitag Borin (UNICAMP), Karen Figueiredo (UFMT), Karina Mochetti (UFF), Luciana Frigo (UFSC), Luciana Salgado (UFF), Luiz Merkle (UTFPR), Maria Augusta Silveira Netto Nunes (UFS), Maria Claudia Emer (UTFPR), Mariangela Gomes Setti (UTFPR), Marília Amaral (UTFPR), Maristela Holanda (UnB), Milene Silveira (PUCRS), Mirella Moro (UFMG), Raquel Bravo (UFF), Rosiane de Freitas (UFAM), Sílvia Amélia Bim (UTFPR), Tainá Medeiros (IFRN), Tanara Lauschner (UFAM)

Trabalhos aceitos

Oficina de Re(design) da Interação do Whatsapp para alunas da rede municipal de Petrópolis

Luciana Salgado, Claudia Cappelli, Meirylen Rosa Emidio Avelino

Percepções de alunas de Ensino Médio sobre as subáreas da Computação

Karen da Silva Figueiredo, Rayane Vitorassi, Edeizi Monteiro, Suliane de Oliveira Carneiro

Delineando o Perfil Feminino Discente do Bacharelado em Ciência da Computação do IFCE campus Aracati

Rhayane da S. Monteiro, Jarina M. P. Marinho, Reinaldo B. Braga, Márcia de N. Viana, Carina T. de Oliveira

Relatos de Experiências da participação de Mato Grosso no Technovation Challenge 2017

Pedro Clarindo da Silva Neto, Monique Casagrande

Egressas de Ciência da Computação da Universidade Estadual do Oeste do Paraná: o que veio depois?

Bianca Carvalho de Oliveira, Clodis Boscaroli, Eliane Nascimento Pereira, Gabriela Marim de Souza, Letícia Torres

O Computar em uma Perspectiva Queer: considerando os espaços hacker e maker

Leander Cordeiro de Oliveira, Marília Abrahão Amaral

Construção identitária das mulheres no campo da computação. Imagens reforçadas, distâncias ampliadas

Pricila Castellini, Marília Abrahão Amaral

Uma Pesquisa com Alunas do Ensino Fundamental e Médio sobre os Cursos da Área de Computação

Maristela Terto de Holanda, Roberto Mourão, Guilherme N. Ramos, Aleteia Patrícia F. de Araújo, Maria Emília T. Walter

Evasão das Mulheres dos Cursos de Computação: Um estudo de Caso na Paraíba

Angelina S. da S. Sales, Luana S. Reis, M^a Dayane F. C. Lima, Danielle R. D. Silva

Explorando o Pensamento Computacional para Despertar Novos Talentos: Relato de uma Experiência

Cristina Paludo Santos, Denilson Rodrigues da Silva, Giana Ferreira, Maria Gisele Flores da Silveira

Incentivos à igualdade de gênero: estudo de caso de uma comunidade formada somente por mulheres da área de tecnologia

Carolina C. Vieira, Ana Carolina R. Soares, Serena F. Ribeiro

Relato Tech Ladies: redes de colaboração entre mulheres na tecnologia

Ana C. M. Souza, Izadora Perkoski, Khalyandra Veiga, Vanessa Romankiv

Discussão da Posição de Calouras de Ciência da Computação

Karina Mochetti, Raquel Bravo, Luciana Salgado, Carla Leitão, Camille Braga, Gabriela Hecksher, Kayalla Pontes

A Computação sob a Ótica de Meninas do Ensino Médio

Mateus Paludo Santos, Cristina Paludo Santos, Cristiane Ellwanger

Panorama da Participação Feminina em Competições de Programação Promovida por Instituição de Ensino Superior da Região Norte

Marcela Sávia Picanço Pessoa, Sérgio Cleger Tamayo, Eder Martins Franco

Gurias na Computação: fortalecendo e incentivando a participação feminina no Ensino Superior

Isadora Garcia Ferrão, Aline Vieira de Mello, Amanda Meincke Melo

A importância de atividades de empoderamento feminino como forma de minimizar a evasão das mulheres nos cursos de Tecnologia da Informação

Thalia S. Santana, Ianka T. B. Assis, Ramayane B. Braga, Natália C. Louzada

Perfil das Alunas no Departamento de Computação da Universidade de Brasília

Maristela Holanda, Marília Dantas, Gustavo Couto, Jan Mendonça Correa, Aleteia Patrícia F. de Araújo, Maria Emília T. Walter

Por Mais Mulheres na Computação: análise dos trabalhos publicados no X Women in Information Technology

Gisela Cesario, Noélya Gonçalves da Silveira, Sílvia Amélia Bim, Cristiano Maciel

Mobilidade urbana na perspectiva das mulheres: hacktivismo no mapeamento de assédio em transportes públicos

Simony C. R. de Moura, Jucylene H. A. de Melo

Usando técnicas de aprendizagem colaborativa para incentivar o ensino-aprendizagem de programação entre as alunas de cursos de Computação

Géssica M. da S. Alves, Jailma J. da Silva, Rebeca de Q. Dantas, Vanessa F. Dantas, Renata V. de Figueiredo, Gabriela C. M. de Souza

Aumento da participação feminina em competições de programação tecnológicas através da criação de grupos de treinamento e pesquisa

Marcela Sávia Picanço Pessoa, Sérgio Cleger Tamayo, Juliany Rodrigues Raiol

Participação feminina em cursos de computação: um estudo no Instituto de Computação da Universidade Federal do Amazonas

Fabíola Nakamura, Ludymila Lobo, Rosiane de Freitas, Taynah Almeida, Ana Lúcia Machado, Tanara Lauschner

Hora do Vestibular: o que as estudantes do ensino médio almejam fazer?

Fabíola Nakamura, Taynah Almeida, Rosiane de Freitas, Tanara Lauschner

Pequenas grandes violências: uma análise do preconceito relacionado a gênero

Mariana Cristina Marino, Rita C. G. Berardi, Silvia Amelia Bim

Análise da Participação Feminina nos Cursos de Licenciatura em Computação e Sistemas de Informação

Niellen N. M. de Souza, Ana Carina G. de Lima, Decíola F. de Sousa

Meninas Digitais - Regional Bahia: os primeiros bits

Juliana Maria Oliveira dos Santos, Ana Carolina Cerqueira Ferreira, Allan Thales Ramos de Oliveira, Débora Abdalla Santos, Ecivaldo de Souza Matos

Sobre a trajetória de professoras negras na pós-graduação em Ciência da Computação: alguns resultados preliminares

Ecivaldo S. Matos, Emilayne F. Corlett, Ana Carolina C. Ferreira, Juliana Maria Oliveira dos Santos

Oficina de Re(design) da Interação do Whatsapp para alunas da rede municipal de Petrópolis

Luciana Salgado¹, Claudia Cappelli², Meirylen Rosa Emidio Avelino¹

¹Instituto de Computação – Universidade Federal Fluminense (UFF) - Niteroi – RJ – Brazil

² – Universidade (UNIRio) – Rio de Janeiro – RJ – Brazil

luciana@ic.uff.br, claudia.cappelli@uniriotec.br,
meirylenerea@id.uff.br

Abstract. *The Meninas Digitais Project aims at attracting girls to Computer Science area. This work presents the conduction of a workshop at the LNCC (National Computer Science Laboratory) in Petrópolis, Rio de Janeiro, for two public elementary school classes. After a talk about the project, we conducted a practical experience in a (re) design of Human-Computer Interaction scenario. In this experience, the students would have to understand the customer's need and present possible solutions to the problems presented.*

Resumo. *O Programa Meninas Digitais quer atrair meninas para a área de computação. Este trabalho apresenta a execução de uma oficina no LNCC (Laboratório Nacional de Ciência da Computação) em Petrópolis, Rio de Janeiro, para duas turmas de ensino fundamental de escola pública. Após uma palestra sobre o Projeto, conduzimos uma oficina para o (re)Projeto da Interação Humano Computador, em um cenário de desenvolvimento de software, onde os alunos teriam que entender o cliente e apresentar soluções possíveis para os problemas apresentados.*

1. Introdução

Mundialmente, programas e projetos são realizados para atrair mulheres para a área de computação [Medeiros, 2005]. Uma ação que tem se mostrado bastante promissora é a realização de oficinas junto a alunas do ensino fundamental e médio [Amaral *et al.*, 2015]. O maior objetivo é de fato estimulá-las a optarem por uma atuação profissional na área de computação.

Este trabalho apresenta uma experiência de execução de uma oficina do Programa Meninas Digitais [Maciel & Bim, 2016] durante a Semana de Ciência de Tecnologia de 2016 no LNCC (Laboratório Nacional de Ciência da Computação) localizado na cidade de Petrópolis no Rio de Janeiro. Nesta experiência foi realizada uma palestra para 2 (duas) turmas de ensino fundamental de escola pública da cidade e com estas foi feita uma experiência em um cenário de desenvolvimento de software.

A seção 2 descreve o planejamento, a execução e a análise da oficina realizada. A seção 3 descreve as conclusões, limitações e perspectivas futuras.

2. Uma oficina no LNCC

Durante o planejamento, fomos informados de que o público alvo seria composto por uma média de 100 alunos e alunas do ensino fundamental e médio de escolas municipais de Petrópolis. Adicionalmente, soubemos que teríamos 1 (uma) hora em média e as pessoas estariam dispostas em um auditório de formato tradicional.

Com esses dados decidimos dividir o tempo com 20% destinados à apresentação do programa e motivação, e os restantes 80% destinados à uma oficina prática. Esta atividade deveria ser: (i) Desplugada, pois as crianças e jovens não teriam artefatos computacionais à sua disposição; (ii) Flexível para meninos e meninas de diferentes idades, pois não havia certeza de quais escolas iriam participar e nem a faixa etária exata; (iii) Destinada a trabalhos realizados por grupos pequenos (duplas ou trios), pois o auditório não permitiria que as cadeiras fossem movimentadas. Diante das restrições acima, planejamos uma (i) apresentação falando sobre objetivo do programa, ações realizadas, publicações, exemplos de projetos oriundos e desafios para disseminação do programa; (ii) Mini-Oficina do Programa Meninas Digitais.

O tema foi o (re) Projeto da Interação Humano Computador (IHC). Portanto, com esta oficina, pretendíamos explorar as facilidades e dificuldades na realização das tarefas, assim como o engajamento dos participantes diante dos desafios oferecidos.

2.1. A realização da oficina

Participaram da execução da oficina duas pesquisadoras seniores (Pe1 e Pe2), dos Projetos Digital Girls in Rio [Digital Girls] e #include <meninas.uff> [Include Meninas, Mochetti et al, 2016], respectivamente. Participou também uma aluna (A1), membro do Projeto #include <meninas.uff>. A atividade contou com 45 alunos, em torno de 20 meninos e 25 meninas. Adicionalmente, estavam presentes 2 professoras e 4 alunos do curso de graduação de uma Faculdade Privada de Petrópolis.

Na primeira parte, observamos e anotamos dados sobre o comportamento e interesse dos alunos por esta parte mais teórica da atividade. Na segunda parte, os alunos e alunas foram convidados a participar da avaliação de IHC em um aplicativo de grande utilização na atualidade, o *Whatsapp*¹.

Durante todo o processo, Pe1 e A1 coletaram registraram as evidências da pesquisa exploratória que estávamos realizando. Primeiramente, como uma dinâmica “quebra-gelo”, Pe2 perguntou: “Quem aqui usa o *WhatsApp*? Alguém tem alguma reclamação a fazer sobre o *WhatsApp*? Algo que não gosta ou algo que gostaria que fosse diferente?”

Na sequência, Pe2 apresentou o seguinte cenário aos participantes: “*Imagem que vocês trabalham na Equipe do WhatsApp! Vocês recebem quase todos os dias sugestões e reclamações dos usuários do WhatsApp. E hoje terão contato com os pedidos da Usuária JoutJout. Veja o vídeo!*”

O vídeo escolhido está disponível nas redes sociais² e foi disponibilizado pela Blogueira JoutJout. Esta blogueira tem milhares de seguidores adolescentes e, portanto,

¹ https://www.whatsapp.com/?l=pt_br

² https://www.youtube.com/watch?v=pOk4m_7I5Zc. (Como destruir relacionamentos)

o objetivo era mostrar algum usuário provavelmente conhecido pelos participantes mirins e com eles tivessem alguma afinidade.

Logo após a exibição do vídeo receberam a pergunta 1 a ser respondida, “Quais problemas a JoutJout apontou no WhatsApp?” Para isso todos receberam lápis e papel e foram convidados a anotar os problemas. Os participantes foram avisados de que teriam em torno de 8 a 10 minutos para esta tarefa. Após esta etapa, Pe2 motivou uma discussão em grupo sobre os problemas identificados. As duplas, espontaneamente revelaram os problemas que identificaram ao ouvir o relato da usuária JoutJout.

Na sequência os participantes foram convidados a responder a pergunta 2 em duplas: “O que havia no ambiente de uso da JoutJout que os projetistas do WhatsApp não levaram em consideração?” Os participantes foram avisados de que teriam em torno de 5 minutos para discutir e anotar suas opiniões. Após esta etapa, Pe2 motivou uma discussão em grupo sobre o que ficou fora das decisões de design do *WhatsApp* (2016).

Finalmente, na última etapa da oficina, os participantes foram motivados a responder à pergunta 3: “Como melhorar o WhatsApp para que ele atenda aos pedidos da JoutJout?” As soluções poderiam concentrar-se em problemas já conhecidos da aplicação e incluir soluções inovadoras.

Finalmente, foi apresentado o problema da falta de meninas seguindo carreiras nas áreas de tecnologias, onde os alunos tiveram a oportunidade de relatar suas experiências e solucionar alguma possível dúvida sobre o assunto. Foi também abordado o tema de que não devem haver barreiras para mulheres na computação.

2.2. Análise dos resultados da oficina

Na atividade quebra-gelo obteve-se excelente participação de todos. As únicas duas reclamações que tivemos foram sobre efeitos ou problemas colaterais. Uma adolescente, por exemplo, disse: “sou contra o uso excessivo de redes sociais, pois isso afasta as pessoas umas das outras”.

A apresentação do cenário não despertou dúvida. O vídeo, por sua vez, teve uma ótima aceitação dos alunos presentes. Todos, meninos e meninas comentaram: “Uuh, JoutJout!!”, “Adoro ela”, “Eu conheço a JoutJout”. Percebemos que vários fizeram anotações durante a exibição do filme. Após a exibição da pergunta 1 e a proposta de se juntarem em duplas para respondê-la, gerou-se um burburinho geral no auditório. Algumas duplas e trios atenderam ao pedido de compartilharem o que conversaram.

O problema 1 tratava do fato de envio de *emojicons* que quando enviados sozinhos tomavam uma proporção maior do que o desejado pois aumentavam de tamanho. A maioria dos grupos concordou com o problema. O problema 2 explorou o contexto particular de uso do *WhatsApp* enquanto estamos em trânsito ou em uma situação onde não temos tempo de responder a uma mensagem já lida. Neste aplicativo, as mensagens são classificadas em: enviadas, entregues e lidas. Novamente, a participação foi intensa. A maioria dos grupos quis revelar o que conversaram. Não percebemos dificuldades para, em grupo, discutirem o problema e nem para relatarem os problemas identificados de uma forma coerente e lógica. Uma das duplas, por

exemplo, comentou: “Isso sempre acontece comigo! Minha mãe reclama quando leio e não respondo a mensagem dela! Mas às vezes eu nem vi a mensagem!”

A última atividade teve como objetivo motivar os participantes a apresentarem soluções novas e criativas para os dois problemas apresentados. Para o problema 1 um dos grupos indicou que o *emoticon* enviado deveria ter um tamanho normal e caso o usuário quisesse tornar ele em um tamanho maior dando mais ênfase, poderia ficar pressionando a tecla e daí ele iria crescendo de tamanho. Muitos comentaram que também não achavam útil esta solução de aumentar o tamanho de forma automática quando se envia apenas um *emoticon*. Para o problema 2 o interesse por conversar e tentar dar uma solução foi nítido. Alguns grupos pensaram em soluções alternativas, como por exemplo: “O usuário deveria ser capaz de dizer se uma mensagem realmente foi lida ou não. Esta ação deve ficar no controle do usuário”. Outra solução seria haver algum tipo de reconhecimento de contexto (onde o usuário está). Esta solução foi também apontada pela própria usuária JoutJout e eles concordaram que seria bastante útil. Ao final da oficina, todos os alunos estavam bem empolgados e demonstraram que tinham gostado bastante da atividade.

3. Conclusões

Este artigo relata uma experiência de atividade de aproximação de adolescentes às atividades típicas de profissionais de TI. Com a atividade proposta, os participantes se colocaram no lugar de projetistas e tinham que propor soluções para problemas relatados por um usuário. Com isto, experimentarem atividades típicas de um profissional de TI: ouvir o usuário, registrar os problemas do usuário, avaliar oportunidades de melhorias em uma aplicação, criar soluções alternativas e inovadoras.

Com as evidências, vimos que os participantes se mantiveram engajados durante a atividade e perceberam que aplicações são feitas e usadas por usuários com características e necessidades particulares (quem são os usuários?), em contextos específicos (onde?), para finalidades distintas (para que?) e com diferentes tipos de dispositivos (celulares, tablets,..). Desta forma, os praticantes mirins das técnicas e métodos de IHC puderam participar, através de simples perguntas, de uma etapa inicial de processo de (re) definição de aplicações computacionais.

O desenvolvimento de oficinas deste tipo evidencia que a aproximação das meninas desde muito cedo nas escolas pode contribuir para desmistificar a computação para elas.

Referências

Amaral, Marília Abrahão et al. Introducing Computer Science to Brazilian Girls in Elementary School Through HCI Concepts. In: Design, User Experience, and Usability: Users and Interactions. Springer International Publishing, 2015. p. 141-152.

Digital Girls in Rio. <https://www.facebook.com/digitalgirlsinrio/?fref=ts>. Acessado em 09/05/2017.

Include Meninas. www.facebook.com/include.meninas.uff. Acessado em 09/05/2017.

Maciel, C., Bim, S. A. Programa Meninas Digitais - ações para divulgar a Computação para meninas do ensino médio. In: Computer on the Beach 2016,

Florianópolis, SC. pp.327-336. 2016. Disponível em
<<http://www.computeronthebeach.com.br/arquivos-2016/Anais%20completos%20-%20Computer%20on%20the%20Beach%202016.pdf>>

Medeiros, C.B.. 2005. From subject of change to agent of change: women and IT in Brazil. In Proceedings of the international symposium on Women and ICT: creating global transformation (CWIT '05), Claudia Morrell and Jo Sanders (Eds.). ACM, New York, NY, USA, , Article 15.

Mochetti, K., Salgado, L., Zerbinato, A., Souza, B., and Avelino, M. Ciência da computação também é coisa de menina! Women in Information Technology at Brazilian Computer Society Congress, 2016.

Projeto Meninas Digitais (<http://meninas.sbc.org.br/index.php/projetos/>).

Percepções de alunas de Ensino Médio sobre as subáreas da Computação

Karen da Silva Figueiredo¹, Rayane Vitorassi², Edeizi Monteiro³, Suliane de Oliveira Carneiro⁴

Instituto de Computação – Universidade Federal do Mato Grosso (UFMT)
Cuiabá, Mato Grosso, Brasil ¹²³

Instituto Federal de Mato Grosso (IFMT), Campus Pontes e Lacerda
Pontes e Lacerda, Mato Grosso, Brasil ⁴

karen@ic.ufmt.br¹, rayanevtoledo@gmail.com², edeizi.m2@gmail.com³,
suliane.carneiro@plc.ifmt.edu.br⁴

Abstract. *The present work presents a preliminary research with high school female students of Mato Grosso about their level of information with respect to the subareas of computing and their level of interest in learning more about these subareas.*

Resumo. *O presente trabalho apresenta uma pesquisa preliminar realizada com alunas de ensino médio de uma escola do interior do Mato Grosso com objetivo de medir o nível de informação das alunas a respeito das subáreas da computação e o seu nível de interesse em conhecer mais sobre estas subáreas.*

1. Introdução

Dados do INEP revelam que no Brasil, desde 1991, as mulheres perderam 19,37% da representatividade em cursos de ensino superior relacionados à área de Computação, totalizando, apenas, 15,53% do quantitativo de alunos matriculados [INEP 2015]. Diversas pesquisas acadêmicas e da mídia procuram compreender o porquê do baixo ingresso de jovens mulheres nestes cursos [Ahuja 2002, Figueiredo e Maciel 2016].

Um dos fatores apontados para um número inexpressivo de mulheres na computação deve-se à falta de informação das jovens em geral sobre a carreira, áreas de concentração e diferenças entre os cursos de Computação [ICMC/USP 2014]. As jovens seriam ainda mais afetadas quando se leva em consideração a falta de incentivo social para atuarem com tecnologia [Verbick 2002].

No Brasil, a Sociedade Brasileira de Computação (SBC) designa comissões especiais que reúnem associados com interesses comuns em determinada subárea da Computação, resultando na categorização de 27 subáreas da computação [SBC 2017]. Muito embora os cursos de graduação em computação abordem tais subáreas (alguns de forma mais profunda e outros menos), não é comum que todas as subáreas sejam popularmente divulgadas ou discutidas nas escolas, na mídia e nos círculos sociais de jovens alunas de ensino médio, que estão em fase de ponderamento sobre qual carreira e/ou curso seguirem após a conclusão dos anos escolares.

Desta forma, este artigo apresenta uma pesquisa preliminar - realizada com alunas de ensino médio de uma escola do interior do estado de Mato Grosso com o objetivo de medir o nível de informação acerca das subáreas da computação e o nível de interesse em conhecer mais sobre as diversas subáreas. Nas seções a seguir são apresentadas a metodologia, resultados e considerações desta pesquisa.

2. Metodologia

A presente pesquisa foi realizada com 35 alunas de ensino médio¹ do Instituto Federal de Mato Grosso na cidade de Campus Pontes e Lacerda em abril de 2015, durante uma atividade do projeto Meninas Digitais Regional Mato Grosso. O projeto Meninas Digitais Regional Mato Grosso tem como objetivo a realização de práticas de caráter motivacional e informativo com alunas de Ensino Médio no estado de Mato Grosso visando a equidade de gênero nas carreiras e cursos das áreas de Computação e Tecnologias da região através do incentivo e promoção da participação feminina [Figueiredo *et al.* 2016].

As alunas participantes da atividade possuem idade entre 14 e 19 anos, compreendendo todos os anos do ensino médio, sendo algumas também alunas de nível técnico nos seguintes cursos: Manutenção e Suporte em Informática (17 alunas), Controle Ambiental (9 alunas) e Secretariado (4 alunas). A pesquisa foi realizada por meio de questionário e, logo após, foi feita uma dinâmica, com o objetivo de discutir as principais diferenças entre os cursos superiores de computação e suas possibilidades de atuação. Por fim, realizou-se um debate acerca da interação das jovens com as tecnologias que consomem no dia-a-dia.

O questionário aplicado continha as 27 subáreas da Computação listadas em formato de grade e as seguintes opções para resposta: “Não conheço e nunca ouvi falar”, “Não conheço, mas já ouvi falar”, “Conheço POUCO e tenho interesse em estudar mais sobre o tema”, “Conheço POUCO e NÃO tenho interesse em estudar mais sobre o tema”, “Conheço MUITO e tenho interesse em estudar mais sobre o tema”, “Conheço MUITO e NÃO tenho interesse em estudar mais sobre o tema” e “Não sei avaliar o meu interesse”.

3. Resultados

As 27 subáreas da computação dispostas nos questionários, conforme a SBC as divide são: Algoritmos, Arquitetura de Computadores, Banco de Dados, Biologia Computacional, Combinatória e Otimização, Computação Aplicada a Saúde, Computação Gráfica e Processamento de Imagens, Computação Musical, Concepção de Circuitos e Sistemas Integrados, Engenharia de Sistemas Computacionais, Engenharia de Software, Geoinformática, Informática na Educação, Inteligência Artificial e Inteligência Computacional, Interação Humano Computador, Jogos e Entretenimento Digital, Linguagens de Programação, Métodos Formais, Processamento de Linguagem Natural, Realidade Virtual, Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos, Robótica, Segurança de Informação e de Sistemas Computacionais, Sistemas Colaborativos,

¹ Previamente autorizadas pelos responsáveis a participarem.

Sistemas de Informação, Sistemas Multimídia e Web e Sistemas Tolerantes a Falhas [SBC 2017].

As subáreas apontadas com maior desconhecimento (opções “Não conheço e nunca ouvi falar” e “Não conheço, mas já ouvi falar”,) pelas participantes foram: Biologia Computacional (82,9%), Geoinformática (80%), Processamento de Linguagem Natural (80%), Métodos Formais (77,2%), Combinatória e Otimização (77,1%), Sistemas Tolerantes a Falhas (77,1%), Sistemas Colaborativos (74,3%), Computação Aplicada a Saúde (74,3%), Realidade Virtual (62,9%) e Engenharia de Sistemas Computacionais (60%). Geoinformática, Combinatória e Otimização foram as subáreas mais indicadas como totalmente desconhecidas, respectivamente 65,7% e 60%.

As subáreas assinaladas como mais conhecidas pelas participantes, isto é, subáreas que as participantes indicaram conhecer de alguma forma, foram (opções “Conheço POUCO e tenho interesse em estudar mais sobre o tema”, “Conheço POUCO e NÃO tenho interesse em estudar mais sobre o tema”, “Conheço MUITO e tenho interesse em estudar mais sobre o tema” e “Conheço MUITO e NÃO tenho interesse em estudar mais sobre o tema”): Jogos e Entretenimento Digital (74,3%), Algoritmos (60%), Linguagens de Programação (60%), Inteligência Artificial e Inteligência Computacional (57,2%), Robótica (57,2%), Banco de Dados (57,1%), Informática na Educação (57,1%) e Sistemas de Informação (51,4%).

As subáreas informadas como mais interessantes (opções “Conheço POUCO e tenho interesse em estudar mais sobre o tema” e “Conheço MUITO e tenho interesse em estudar mais sobre o tema”) foram: Inteligência Artificial e Inteligência Computacional (48,6%), Robótica (48,6%) e Jogos e Entretenimento Digital (45,7%); já as subáreas menos interessantes (opções “Conheço POUCO e NÃO tenho interesse em estudar mais sobre o tema” e “Conheço MUITO e NÃO tenho interesse em estudar mais sobre o tema”) segundo as participantes são: Arquitetura de Computadores, Engenharia de Software e Algoritmos, todas com 28,6% das respostas. As subáreas mais conhecidas e interessantes, de acordo com as respostas foram: Informática na Educação, Linguagens de Programação e Jogos e Entretenimento Digital, todas com 14,3%.

Nota-se que as subáreas menos conhecidas pelas alunas são mais específicas, de conhecimento mais avançado, geralmente abordadas de forma profunda em cursos de pós-graduação e disciplinas de tópicos avançados na graduação, enquanto as subáreas mais conhecidas são áreas mais retratadas pela mídia e mais próximas do cotidiano das alunas, principalmente, das que fazem o curso técnico em Manutenção e Suporte em Informática. Enquanto, as subáreas mais interessantes são áreas mais lúdicas e as menos interessantes são subáreas mais técnicas, provavelmente com mais conhecimento por meio da formação das participantes.

A tabulação de todas as respostas da pesquisa pode ser encontrada no endereço: <https://goo.gl/J7Qtr8>.

4. Considerações Finais

O presente trabalho apresentou os resultados de uma pesquisa acerca das percepções de alunas sobre os níveis de informação a respeito das subáreas da computação e o seu interesse em conhecer mais sobre elas. A partir dos dados relatados, foi possível

perceber que as jovens tendem a interessar-se por subáreas mais lúdicas e mais difundidas pela mídia, desde reportagens a filmes sobre o assunto. Assim, investir em realizar atividades motivacionais e capacitativas com as alunas de ensino médio sobre tais subáreas pode despertar mais o interesse dessas jovens em realizar um curso superior em computação ou área afim.

Compreende-se que esta é uma pesquisa preliminar, que pode ser estendida para ter resultados mais sólidos, incluindo também perguntas dissertativas.

A pesquisa também pode ser aplicada com um número maior de participantes, inclusive com alunas de ensino superior. A realização desta pesquisa com alunas de cursos de graduação em computação, poderia ajudar a entender melhor os seus interesses para poder desenvolver estratégias curriculares com intuito de evitar a evasão destas alunas ao longo do curso.

Referências

- Ahuja, M. K. (2002) “Women in the information technology profession: A literature review, synthesis and research agenda”, *European Journal of Information Systems*, v. 11, n. 1, p. 20-34.
- Comunidade Brasileira de Sistemas de Informação (2015) “Saiba de uma vez por todas as diferenças entre os cursos superiores de TI”, Artigo de Cláudio Florenzano, Disponível em: <http://www.cbsi.net.br/2015/06/as-diferencas-entre-os-cursos-de-TI.html#.VirQoSudBwB>, Acesso: 23 de março de 2017.
- Figueiredo, K.; Maciel, C. (2016) “Reflexões sobre Gênero, Tecnologia e Processo Vocacional”, 10º WIT - Women in Information Technology, XXXVI Congresso da Sociedade Brasileira de Computação, p. 2728- 2731.
- Figueiredo, K.; Neto, P. C. da S., Maciel, C. (2016) “Meninas Digitais Regional Mato Grosso: Práticas Motivacionais no Ensino Médio para a Equidade de Gênero nas Carreiras e Cursos de Computação e Tecnologias”, 10º WIT - Women in Information Technology, XXXVI Congresso da Sociedade Brasileira de Computação, p. 2702- 2705.
- ICMC/USP (2014) “A difícil escolha entre Ciências de Computação, Engenharia de Computação e Sistemas de Informação”, Artigo de Denise Casatti, Disponível em: http://conteudo.icmc.usp.br/Portal/Noticias/leituraNoticias.php?id_noticia=526&tipoPagina=Noticias&tipoNoticia=Ensino, Acesso: 23 de março de 2017.
- INEP (2015) “Resumo Técnico da Educação Superior 2013”, Diertoria de Estatísticas Educacionais DEED, Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira, Brasília-DF, 82 p.
- SBC (2017) “Sociedade Brasileira de Computação – Comissões Especiais”, Página da Web, Disponível em: <http://www.sbc.org.br/403-comissoes-especiais>, Acesso: 23 de março de 2017.
- Verbick, T. (2002) “Women, technology, and gender bias”, *Journal of Computing Sciences in Colleges*, v. 17, n. 3, p. 240-250.

Delineando o Perfil Feminino Discente do Bacharelado em Ciência da Computação do IFCE campus Aracati

**Rhayane da S. Monteiro¹, Jarina M. P. Marinho¹, Reinaldo B. Braga¹,
Márcia de N. Viana¹, Carina T. de Oliveira¹**

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – Campus Aracati
Aracati – CE– Brasil

rhayane97monteiro@gmail.com, {mara.marinho, reinaldo.braga,
marcia.viana, carina.oliveira}@ifce.edu.br

***Abstract.** The study of female performance in courses of Information and Communication Technology (ICT) is relevant to the market and the academy in the context of gender equality promotion. However, only few researchers outline the profile of female ICT students. These researchers are important to support the implementation of strategies to ensure the permanence and success of female students. In this paper, the profile of female students from the undergraduate course in Computer Science of the IFCE Campus Aracati is outlined. Among the results obtained, we highlight the discrepancy between the profile of students enrolled and evaded. Also, the results were used to the development of actions to encourage the permanence and success of students.*

***Resumo.** O estudo da atuação feminina nos cursos da área de Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) é relevante para o mercado e a academia no contexto da promoção da igualdade de gênero. Contudo, ainda são poucas as pesquisas que retratam o perfil das alunas da área de TIC. Tais pesquisas são importantes para suporte à implementação de estratégias de permanência e êxito das alunas. Neste trabalho, é delineado o perfil das alunas do curso de Bacharelado em Ciência da Computação do IFCE campus Aracati. Dentre os resultados obtidos, destaca-se a discrepância entre o perfil das alunas matriculadas e desistentes. Os resultados também auxiliaram no desenvolvimento de ações de incentivo à permanência e êxito das alunas.*

1. Introdução

A conquista da igualdade de gênero está diretamente atrelada ao empoderamento da mulher, que, por sua vez, caminha ao lado da educação formal e consequente profissionalização [ONU Mulheres 2017]. Para tanto, deve-se investir fortemente na adesão feminina em todos os campos do saber, sendo maior o desafio da inclusão na área de Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC), desmistificando o tradicional pensamento que costuma associar as áreas de exatas a uma suposta "vocaçãõ masculina".

A temática de empoderamento de mulheres na área de TIC vem sendo cada vez mais estudada e discutida, tanto no ambiente acadêmico quanto no mercado profissional. Conforme o *National Center for Women & Information Technology* (NCWIT), no ano de 2015 as mulheres representavam apenas 25% das ocupações relacionadas à Ciência da Computação [NCWIT 2016]. No cenário brasileiro, dados do Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais (INEP) revelam que o

percentual de ingressos e concluintes do gênero feminino na área de “Ciências, Matemática e *Computação*” é inferior à masculina em todas as regiões do país [INEP 2014]. A gravidade de tal disparidade produz reflexos na inclusão profissional, tendo em vista que o mercado de trabalho tem sido cada vez mais receptivo a egressos de cursos de TIC, e oferece empregos mais interessantes, maiores salários, e maiores possibilidades de progressão em relação a outras carreiras.

Existem diversos projetos para incentivar o ingresso de mulheres nos cursos de TIC. Contudo, observa-se que há poucos estudos para delinear o perfil das alunas desses cursos [Figueiredo *et al.* 2016]. Esses estudos são importantes por fornecerem meios para a implementação de estratégias de permanência e êxito das alunas. Como passo nessa direção, Figueiredo *et al.* [2016] realizaram um estudo quantitativo para conhecer o número de mulheres ingressantes por semestre, as formas de ingresso delas e sua situação atual. Entretanto, ainda são necessárias discussões e análises mais aprofundadas para traçar o perfil feminino das estudantes matriculadas.

Visando aprofundar o conhecimento sobre o perfil feminino discente na área de TIC, o objetivo deste artigo é delinear o perfil das alunas do curso de Bacharelado em Ciência da Computação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) campus Aracati. É fundamental conhecer esse perfil para que seja realizado o desenvolvimento adequado de ações de incentivo à permanência e êxito das alunas do curso e, além disso, identificar mecanismos que possam contribuir para o aumento do número de mulheres ingressantes na área de TIC.

2. Contexto do curso de Bacharelado em Ciência da Computação

O curso de Bacharelado em Ciência da Computação (BCC) do IFCE campus Aracati teve seu início no ano de 2012. As formas de ingresso são: via processo seletivo público pelo Sistema de Seleção Unificado (SiSU), como aluno especial, graduado ou transferido. O curso tem duração de 4 anos e sua oferta é semestral, com turnos vespertino e noturno intercalados a cada semestre.

3. Resultados

O percurso metodológico para a coleta de dados, visando conhecer o perfil das alunas de BCC do IFCE campus Aracati, constituiu-se em realizar análises de dados de 62 estudantes entre os semestres 2012.1 e 2016.2. Esse número corresponde ao total de alunas que já ingressou no curso. Os indicadores escolhidos para realizar a análise do perfil feminino discente do curso foram: a situação da matrícula, a faixa etária, a procedência escolar e a renda familiar. Estes indicadores fazem parte do banco de dados do Sistema Acadêmico do IFCE para acompanhamento dos alunos. O levantamento e análise dos indicadores ocorreram no período de janeiro a fevereiro de 2017.

3.1 Situação da Matrícula

Ao fazermos uma análise da situação da matrícula, referente ao Gráfico 1(a), constatamos que a taxa de matriculados entre homens e mulheres por ano, desde 2012, vem sendo predominantemente de gênero masculino. Este dado enfatiza a disparidade da quantidade de matrículas por sexo. Contudo, esse resultado não surpreende porque acompanha a tendência de pesquisas já realizadas em âmbito nacional e internacional, que mostram que o número de homens matriculados ainda é superior ao de mulheres em cursos da área de TIC. Os dados obtidos pelo Sistema Acadêmico do IFCE apontam que

a taxa de mulheres matriculadas é de 23%.

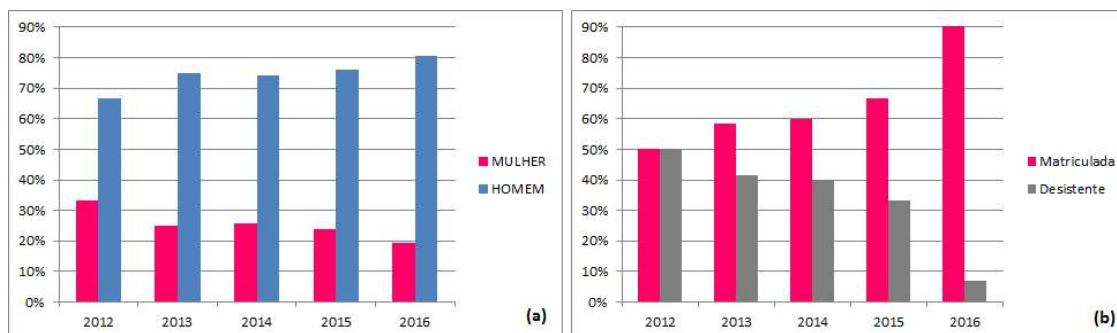


Gráfico 1. (a) Matriculados por Ano, (b) Situação das alunas por Ano.

O Gráfico 1(b) representa a situação da taxa de alunas matriculadas e a taxa de desistentes do curso em função do ano. Considerando a desistência, esta representa as estudantes que evadiram, abandonaram ou cancelaram sua matrícula. O Gráfico 1(b) aponta que a taxa de alunas matriculadas cresceu paulatinamente a cada ano, tendo uma maior participação de discentes matriculadas entre os anos de 2015 a 2016. Esse resultado é bastante animador porque mostra que mais alunas estão permanecendo no curso.

3.2 Faixa Etária

Ao tratarmos da faixa etária das alunas, o Gráfico 2 apresenta que a maioria das alunas matriculadas está na faixa etária entre 18 e 23 anos, representando assim, um público jovem. O menor índice de estudantes matriculadas é entre 30 e 40 anos de idade, representando cerca de 10%. Também nesta faixa etária registrou-se o maior número de desistentes. As alunas de 18 a 23 anos foram as que apresentaram menor índice de desistência, girando em torno de 5%.

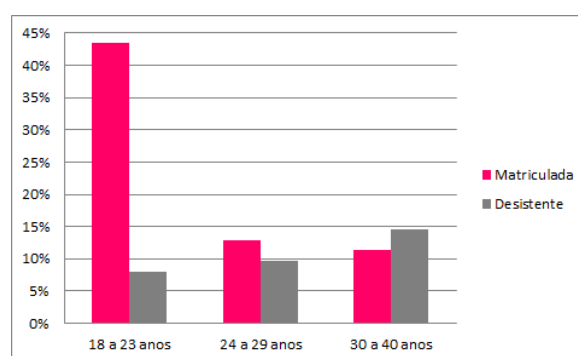


Gráfico 2. Situação das alunas por faixa etária.

3.3 Procedência Escolar

A análise da procedência escolar tem como objetivo entender a influência da escola de origem na permanência do curso. O Gráfico 3 aponta que a maior parte de estudantes matriculadas é proveniente de escola pública e pouco mais de 20% é de escola privada. Em relação as alunas desistentes, aproximadamente 25% delas são de escola pública e apenas 4% das estudantes que desistiram do BCC estudaram em escola privada. Apenas 6% das alunas não informaram a procedência escolar.

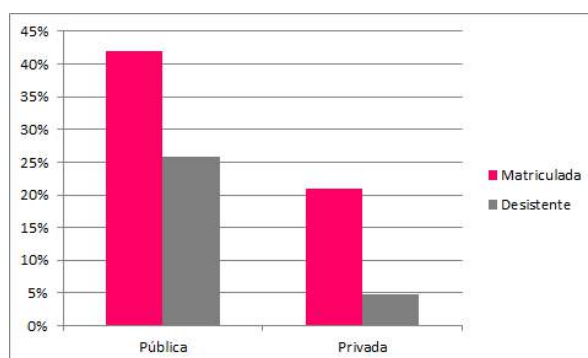


Gráfico 3. Situação das alunas por procedência escolar.

3.4 Renda Familiar

A renda familiar é um indicador relevante porque permite identificar o grau de influência que este gera para a permanência ou não das alunas no BCC. Dessa forma, o Gráfico 4 mostra que a maior parte das estudantes matriculadas tem renda familiar entre um a dois salários mínimos. Considerando as desistentes, a maioria delas tem renda de até um salário mínimo. As menores taxas foram registradas na faixa salarial superior a 3 salários. Aproximadamente 3% do total de alunas não informaram a renda familiar.

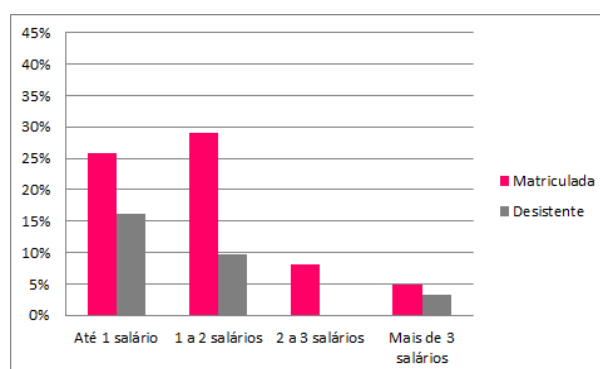


Gráfico 4. Situação das alunas por renda familiar.

4. Conclusões e Trabalhos Futuros

Este artigo teve como objetivo delinear o perfil das alunas do curso de Bacharelado em Ciência da Computação do IFCE campus Aracati. Entre os resultados alcançados com esse estudo temos que: o número de alunas que permanece matriculada aumentou ao longo dos anos no curso. Contudo, o número de desistentes ainda é elevado. Além disso, o maior número de estudantes matriculadas está na faixa etária de 18 a 23 anos e a maior parte das alunas é oriunda de escola pública. Por fim, constatamos que a maioria das alunas regularmente matriculadas apresenta renda familiar entre um e dois salários mínimos.

Os resultados levantados nessa pesquisa vêm sendo utilizados para o desenvolvimento de ações de incentivo à permanência e êxito das alunas. Como exemplos, citamos reuniões de acompanhamento e nivelamento das alunas, além de aulas preparatórias para maratonas de programação locais e nacionais. Também destacamos a criação de projetos de pesquisa e extensão com foco na permanência e

êxito das estudantes, como o projeto intitulado *Desenvolvimento de ações socioeducativas para inclusão, desmistificação e empoderamento da mulher em tecnologiaS da informação e comunicação* (DIVAS) [DIVAS 2017]. O projeto DIVAS é parceiro do programa nacional Meninas Digitais da Sociedade Brasileira de Computação (SBC) [Meninas Digitais 2017]. Uma das atividades do DIVAS foi a realização de diversas ações em escolas públicas por alunos e alunas do curso para incentivar a entrada de meninas do ensino fundamental e médio nos cursos de Técnico em Informática e Bacharelado em Ciência da Computação do IFCE campus Aracati. Além disso, os resultados da presente pesquisa foram apresentados para a direção, coordenação técnico-pedagógica e coordenação de assistência estudantil da instituição com o objetivo de buscar soluções para amenizar problemas associados à renda familiar para que esse indicador não cause problemas de evasão escolar.

Como trabalhos futuros, espera-se realizar um comparativo com o perfil masculino do curso. Além disso, espera-se comparar os dados do Sistema Acadêmico de outros cursos de TIC da instituição. Por fim, acreditamos que as características do município (ex: Produto Interno Bruto - PIB, Índice de Desenvolvimento Humano - IDH, etc) onde o curso é ofertado também repercutem no acesso, permanência e êxito dos alunos e em especial, as do gênero feminino.

Agradecimentos

Este trabalho é um resultado parcial do projeto DIVAS (*Desenvolvimento de ações socioeducativas para inclusão, desmistificação e empoderamento da mulher em tecnologiaS da informação e comunicação*), financiado pelo edital PAPEX/IFCE/2016.

Referências

- DIVAS. Projeto Desenvolvimento de ações socioeducativas para inclusão, desmistificação e empoderamento da mulher em tecnologiaS da informação e comunicação do IFCE campus Aracati. Disponível em <<http://ifce.edu.br/aracati/menu/projetos-de-extensao/divas>>. Último acesso em 03-Maio-2017.
- Figueiredo, R. et al. (2016) Um Estudo Inicial Sobre As Alunas Ingressantes no Curso de Licenciatura em Ciência da Computação da Universidade Federal da Paraíba. In: Congresso da Sociedade Brasileira de Computação (CSBC). Porto Alegre: SBC.
- INEP. Censo da Educação Superior 2012: Resumo Técnico (2014). Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira.
- Meninas Digitais (2017). Programa Meninas Digitais da Sociedade Brasileira de Computação. Disponível em <<http://meninasdigitais.sbc.org.br/>>. Último acesso em 02-Maio-2017.
- NCWIT (2016). Relatório *Women in Tech: The Facts*. Disponível em <http://https://www.ncwit.org/sites/default/files/resources/ncwit_women-in-it_2016-full-report_final-web06012016.pdf>.
- ONU Mulheres. Entidade das Nações Unidas para a Igualdade de Gênero e o Empoderamento das Mulheres. Disponível em <<http://www.onumulheres.org.br/>>. Último acesso em 24-Março-2017.

Relatos de Experiências da participação de Mato Grosso no Technovation Challenge 2017

Pedro Clarindo da Silva Neto¹, Monique Casagranda²

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso – Campus Avançado Tangará da Serra (IFMT)
Rua 28, 980, Vila Horizonte – 78.300-000 – Tangará da Serra – MT – Brasil

² Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso – Campus Campo Novo do Parecis (IFMT)
Rodovia MT 235, Km 12 – 78.360-000 – Campo Novo do Parecis – MT – Brasil
{pedro.neto@tga,monique.casagranda@cnp}@ifmt.edu.br

Abstract. *This paper presents the participation of the Mato Grosso state in the Technovation Challenge in the 2017 edition. By the fact of most professionals in the area of computing are men, participation in the event is intended to influence the insertion of women in technology. By this, girls from 10 to 18 years old, elementary and middle school, can have their first contact with the area, with the creation of mobile applications and, from there, create bonds and pursue a career.*

Resumo. *Este artigo apresenta a participação do estado de Mato Grosso no Technovation Challenge na edição de 2017. Pelo fato da maior parte dos profissionais na área de computação serem homens, a participação no evento tem a intenção de influenciar a inserção de mulheres na tecnologia. A partir desta competição, meninas de 10 a 18 anos, do ensino fundamental e médio, podem ter o seu primeiro contato com a área, com a criação de aplicativos móveis e, a partir daí, criar vínculos e seguir carreira.*

1. Introdução

De maneira recorrente, encontra-se em jornais e sites de notícias a existência de vagas para profissionais na área de TI. Este profissional, sempre disputado por grandes empresas, acaba empregado antes mesmo de se graduar. Atualmente, existem nas universidades, diversas feiras e eventos nas quais empresas de grande porte buscam novos colaboradores.

Figueiredo, Silva Neto e Maciel (2016) informam que pesquisas dentro do ambiente acadêmico, mais precisamente em cursos de Computação, revelam que mulheres ainda são minoria dentro das turmas e que houve uma regressão nesse número, que em 1991 era de 34,9% e, em 2013, data do último censo do INEP, era de apenas 15,53%.

Com o intuito de criar oportunidades que despertem, novamente, o interesse das mulheres pelos cursos de computação, diversas iniciativas aparecem no âmbito acadêmico e profissional. Dentro da própria Sociedade Brasileira de Computação

(SBC), tem-se o *Women in Information Technology* (WIT) que, posteriormente, deu origem ao programa Meninas Digitais, hoje um programa cancelado pela SBC.

O Programa Meninas Digitais é direcionado às alunas do ensino médio/tecnológico, para que conheçam melhor a área de Informática e das Tecnologias da Informação e Comunicação, de forma a motivá-las a seguir carreira nessas áreas [SBC MT 2015]. Diferente de outras ações, o programa Meninas Digitais tem como público-alvo as meninas que cursam no ensino médio e estão em uma fase de escolha de carreira.

Outra iniciativa que possui público-alvo semelhante é o *Technovation Challenge*. O Technovation é uma competição de tecnologia para meninas de ensino fundamental e médio, que é organizado pela *Iridescent*, uma organização educacional americana sem fins lucrativos, que capacita profissionais das área de ciências exatas a disponibilizar educação STEM¹ para meninas carentes, crianças e seus familiares [Iridescent 2017].

Dentro dessa competição, as meninas participantes são levadas a criar aplicativos para dispositivos móveis que resolvam um determinado problema relacionado a uma área social (pobreza, saúde, educação, entre outras). Além disso, devem elaborar um plano de negócios correspondente a este aplicativo, no qual serão descritas as funcionalidades e como o mesmo irá gerar lucro.

Neste artigo, serão abordadas as ações criadas pelo IFMT - Tangará da Serra e Campo Novo do Pareci,s juntamente com suas alunas no *Technovation Challenge 2017*, e as estratégias para aumentar as possibilidades das equipes seguirem para a próxima fase do evento.

2. Technovation Challenge

Segundo a Technovation Brasil (2017), a competição é, atualmente, a maior do mundo para meninas em tecnologia. O programa começou em 2009, em Mountain View, Califórnia. Em 2013, foi aberto pela primeira vez para outros países, e contou com a participação de mais de 600 meninas de países como Índia, China, Indonésia, Inglaterra, Ucrânia, Gana, Nigéria e Brasil.

A competição possui seu currículo dividido em 12 semanas, tendo foco em um tema diferente a cada semana. Durante este período, são recomendadas as atividades referentes às etapas de programação do aplicativo, a criação do plano de negócios, a produção dos vídeos de apresentação do projeto (pitch) e o vídeo de demonstração de funcionamento do aplicativo [Technovation 2017].

As meninas são orientadas por mentores (*coach*), que lhes auxiliam nas tarefas. Esses mentores são voluntários, que podem ser da mesma cidade e escola que as meninas ou podem estar em locais diferentes, realizando uma mentoria virtual. Tanto os mentores quanto as alunas se cadastram no sistema que administra o evento, o *My Technovation Challenge*².

¹ STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics)

² my.technovationchallenge.org

Após a inscrição no evento, as meninas se organizam em equipes de até cinco componentes para a formação de um time. O time é classificado como Sênior ou Júnior, baseado na idade da participante mais velha. Essas meninas podem ter de 10 a 18 anos, sendo que times com participantes a partir de 14 anos são considerados Sênior.

Uma vez que as alunas estão cadastradas e estão participando de um time com um mentor, também cadastrado, lhes auxiliando, a plataforma permite que os times comecem a submeter seus materiais.

Na Figura 1, pode-se observar às visões de mentor e da aluna do ambiente de submissão dos materiais. Esta figura mostra o ambiente dos times, com o nome das participantes, dos mentores e suas fotos. Este ambiente é utilizado para a submissão dos trabalhos efetuados e os seus detalhes, como a plataforma utilizada para desenvolvimento do aplicativo, o código fonte e o plano de negócios do mesmo.

The image displays two screenshots of the Technovation platform interface. The top screenshot, titled "Visão do mentor" (Mentor View), shows a submission form for a team. It includes a "Team photo" placeholder, a "View the Team Page" button, and fields for "App Name (no name yet)", "App Description", and "Sustainable Development Goal". There are social sharing buttons for LinkedIn, Facebook, and Twitter. The right side of the form has sections for "Development Platform", "Source Code", and "Business Plan". Below these are "PITCH" and "DEMO" tabs, and a "Screenshots" section. The bottom screenshot, titled "Visão da aluna" (Student View), shows a submission progress bar with steps: Team photo (checked), Name & Description, Sustainable Development Goal, Pitch Video, Demo Video, Screenshots, Technical Checklist, Source Code, Development Platform, and Business Plan. It includes an "Edit App Info" button, a "View Your Technical Checklist" button, and sections for "Development Platform", "Source Code", and "Business Plan" with "Edit" buttons. A note says "Earn up to 10 points by completing the checklist." and another says "Tell us what you used to develop your app!".

Figura 1. Ambiente Technovation (visão de mentor e da aluna)

Com o ambiente virtual devidamente preenchido até a data limite, existem duas formas de avaliação dos projetos: virtualmente, por juízes que se cadastram no sistema, e por apresentações, chamadas de pitches regionais, nas quais as equipes, presencialmente, apresentam às ideias para juízes que assistem às apresentações e avaliam os projetos.

3. Participação de Mato Grosso na edição de 2017

Em 2016, o estado de Mato Grosso participou do Technovation com duas equipes, sendo uma de Cuiabá, com alunas de escolas estaduais, e outra do município de Tangará da Serra, com alunas do IFMT. Neste ano, o estado não conseguiu realizar um pitch regional devido a quantidade de equipes, conseqüentemente, participaram do julgamento virtual com as demais equipes do país, que não participaram de eventos regionais. Apesar de receber uma boa pontuação, nenhuma das equipes obteve êxito em seguir para próxima fase do certame.

Com a participação de 2016, outras meninas tomaram conhecimento da competição e tiveram interesse na mesma. Além disso, foram realizadas oficinas introduzindo os conceitos de desenvolvimento móvel e apresentando o *Technovation Challenge* para meninas de outras escolas no estado.

Essas oficinas foram executadas como ações do Meninas Digitais, que funciona no IFMT como um projeto extensionista, no qual alunas dos campi e de outras escolas da cidade participam de reuniões semanais, realizando atividades que as estimulem a seguir carreira na computação.

Na edição de 2017, o estado de Mato Grosso está participando com dez equipes Sênior e uma Júnior, proveniente de alunas de ensino médio dos campi de Tangará da Serra e de Campo Novo do Parecis, além de alunas do ensino fundamental da cidade Tangará da Serra. Com esta configuração, o estado está apto a realizar o pitch regional para a modalidade Sênior. A equipe Júnior participará do julgamento virtual, por ter apenas uma equipe.

4. Conclusões

A partir do *Technovation Challenge*, é apresentada para meninas de ensino fundamental e médio uma oportunidade de conhecer e se integrar ao mundo da tecnologia, de forma direta, participando de um evento de abrangência internacional. Esta competição é uma ótima aliada dentro das ações de programas como o Meninas Digitais. A cada edição do evento, o mesmo atinge um raio maior de disseminação e mais meninas têm a oportunidade de conhecer e desenvolver ligações com a tecnologia.

Além disso, as habilidades das participantes são aprimoradas em relação ao desenvolvimento de aplicativos móveis com as oficinas que são oferecidas, em relação ao uso de padrões para desenvolvimento dos mesmos e em relação ao trabalho em comunidade, visto que o desafio é realizado em grupos e existem reuniões semanais. Em Mato Grosso, a participação vem aumentando e para as próximas edições, pretende-se ampliar, ainda mais, a quantidade de equipes no estado.

Referências

Figueiredo, K. S., Silva Neto, P.C., Maciel. C. (2016) “ Meninas Digitais Regional Mato Grosso: Práticas Motivacionais no Ensino Médio para a Equidade de Gêneros nas Carreiras e Cursos de Computação e Tecnologias”, WIT - Woman In Information Technology in Anais do XXXVI congresso da sociedade brasileira de computação, p. 2702-2705.

SBC (2015) “Programa Meninas Digitais”, <https://sbcmt.wordpress.com/meninasdigitais>, March.

Technovation (2017) “Calling all innovators”, <http://technovationchallenge.org/get-started/>, March.

Technovation Brasil (2017) “Sobre nós”, <http://www.technovationbrasil.org/sobre-nos>, March.

Egressas de Ciência da Computação da Universidade Estadual do Oeste do Paraná: o que veio depois?

¹Bianca Carvalho de Oliveira, ¹Clodis Boscarioli, Eliane Nascimento Pereira²,
¹Gabriela Marim de Souza, ¹Letícia Torres

¹Ciência da Computação – Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE)
Cascavel– PR – Brasil

²Ciência da Computação – Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE)
Cascavel– PR – Brasil

{bianca.c.o.bc, boscarioli, eliane.nascimentop, gabimarin06,
atorresleticia}@gmail.com

Abstract. *This paper presents a project in which the goal is to collect data about the female graduates of Computer Science of the Western Parana State University in order to comprehend what their challenges were during and after graduation. The research was applied through a form answered by 40 graduated out of a total of 102, and includes objective and open questions. After data collection, information was obtained, among others, about which were the graduate main areas of interest, as well if they suffered from prejudice and criticism. It was possible to establish ways to attract and motivate the permanence of women with interest in Computer area.*

Resumo. *É apresentado neste artigo a fase inicial de um projeto com o objetivo de coletar dados sobre as egressas do curso de Ciência da Computação da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, a fim de compreender quais foram seus desafios durante e após a graduação. A pesquisa se deu por meio de um formulário (Google Forms), respondido por 40 egressas de um total de 102, e englobou questões objetivas e abertas. Após o levantamento de dados obteve-se informações sobre quais foram as principais áreas de interesse das egressas e se houve preconceito e críticas, dentre outras. Foi possível determinar formas de atrair e motivar a permanência de mulheres com interesse na área de Computação.*

1. Introdução

É sabido que houve forte participação feminina na equipe que construiu o primeiro computador da história: seis mulheres foram designadas para ingressar no grupo de programação original do ENIAC [Goldstine 1980]. Muitas mulheres trabalharam também no começo da história da programação de computadores.

A partir da década de 80, no entanto, com a evolução dos computadores, a área passou a ser “coisa de menino” [Margolis and Fisher 2003]. Na época da construção do

ENIAC, uma das selecionadas relatou que as mulheres não recebiam promoções apesar do grau de instrução, diploma de graduação ou título de doutorado. Era lhes dito que somente homens podiam conseguir cargos gerenciais. A mudança veio após a Segunda Guerra Mundial, quando a indisponibilidade de homens fez com que as mulheres fossem colocadas em cargos de supervisão [Fritz 1994]. Ainda hoje, no entanto, há relatos sobre discriminação entre cargos e salários entre homens e mulheres, embora, de acordo com a *American Association of University Woman* [AAUW 2017], as discrepâncias nas taxas gerais de remuneração entre homens e mulheres permaneceram estagnadas na última década.

Na década de 70 a primeira turma de bacharelado em Ciência da Computação do Instituto de Matemática e Estatística (IME) da Universidade de São Paulo (USP) tinha 70% de alunos do sexo feminino [Época Negócios 2015], talvez pelo fato desse curso ter surgido a partir da licenciatura em Matemática. No entanto, esse percentual de participação feminina nos cursos de graduação da área não se manteve, tendo, a partir da década de 90, começado a diminuir e hoje há uma minoria de mulheres nos cursos da área de computação no Brasil, sendo esta realidade também existente em outros países.

Na Universidad de los Andes, na Colômbia a participação feminina no curso de Engenharia de Sistemas e Computação tem diminuído. No início dos anos 90 a distribuição era de 65 homens e 35 mulheres. Dez anos após, o número de mulheres caiu para 10 [Casallas *et al.* 2012].

Essa baixa representação feminina [Galpin, 2002] se tornou preocupante, e muito se tem discutido sobre a atuação das mulheres tanto no meio acadêmico como na indústria. Para Nelson (2014), grupos com maior diversidade, seja de gênero, de educação, cultural ou experiência, são mais efetivos, pois produzem melhores resultados financeiros e inovadores.

Várias iniciativas vem sendo realizadas a fim de estimular mulheres e meninas a entrar na área de tecnologia, como as relatadas em [Lagesen 2017]. Há também programas criados também para esse fim, a exemplo do IEEE WIE (*Women in Engineering*) [IEEE-WIE 2017], uma iniciativa dedicada a promover a área das engenharias às mulheres, facilitando o ingresso e permanência dessas nas áreas técnicas em geral. No Brasil, há uma crescente de programas e projetos como essa mesma finalidade, como o RodAda Hacker¹, Pyladies² e o Minas Programam³, além do Meninas Digitais⁴ da Sociedade Brasileira de Computação (SBC).

A pouca participação das mulheres na área de Computação também é realidade nos cursos de Ciência da Computação da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, dos *campi* de Cascavel e Foz do Iguaçu. Considerando esse panorama criou-se o projeto DIVAS (Descobrimo e Investigando o Valor e a Abrangência da participação feminina nas áreas computacionais) Digitais, a fim de coletar dados sobre as egressas com o objetivo de identificar os desafios que foram enfrentados durante e após a graduação e

¹ <http://rodadahacker.org>

² <http://brasil.pyladies.com/>

³ <http://minasprogramam.com/>

⁴ Meninas.sbc.org.br/

como se dá sua participação no mercado de trabalho, buscando, a partir das respostas das egressas, estratégias que possam contribuir no aumento da participação feminina na área, e motivar as mulheres que já possuem esse interesse.

2. A pesquisa realizada

Para a coleta de dados foi necessário buscar exaustivamente as egressas, pois o sistema da universidade não filtra os dados cadastrais dos egressos por sexo, além do problema dos dados desatualizados, uma vez que a universidade não possui controle de egressos. No campus de Cascavel, de 1993 a 2015, o número de egressas de Ciência da Computação totaliza 63, e no campus de Foz do Iguaçu, de 1995 a 2015 é de 39.

Houve dificuldade em adquirir os contatos atualizados. Houve, além do acesso aos dados do sistema acadêmico da universidade, o auxílio dos professores do curso e das próprias egressas, para atualização dos contatos, além de buscar as egressas em redes sociais. O questionário *online*, no *Google Forms*, foi distribuído às egressas em e-mails e via mensagem em seus perfis de redes sociais, previamente coletados.

O questionário foi elaborado com questões abertas e objetivas, abordando desde dados pessoais; anos de ingresso e término do curso; áreas de interesse; posição que ocupa no mercado; até o enfrentamento de preconceito, seja na universidade ou no trabalho. Algumas destas questões foram formuladas usando a Escala de *Likert*, em que as respostas especificam o nível de acordo ou desacordo com a questão, inserindo itens com escala simétrica [Burns and Bush 2012] Neste questionário a escala foi: (1) Concordo totalmente; (2) Concordo; (3) Indiferente; (4) Discordo; e, (5) Discordo totalmente. O questionário foi aplicado entre os meses de novembro e dezembro de 2016 e das 102 egressas, houve retorno de respostas de 40.

3. Análise dos Resultados

Das respondentes, 52.5% são do campus de Foz do Iguaçu e 47.5% de Cascavel. Observou-se que o maior número de ingressantes foi em 2000, com oito ingressantes; e o de egressas ocorreu nos anos de 2004 e 2005, ambos com sete egressas. Foi possível coletar alguns relatos sobre preconceito, críticas, expectativas e áreas de interesse.

Ao analisar as expectativas no ingresso do curso, percebeu-se que a maioria já tinha uma expectativa estabelecida. A mais recorrente foi sobre a atuação no mercado: desenvolver softwares, atuar na área científica, fazer concursos e ser bem sucedida. Houve também aquelas que ingressaram visando o aprimoramento de um conhecimento básico previamente obtido, curiosidade e aprendizagem a respeito de programação. Poucas dessas egressas não tinham conhecimento sobre a área e, portanto, não tinham expectativas claras; outras buscavam apenas um diploma de graduação com boa formação com corpo docente qualificado, ou tinham a intenção de ingressar, por afinidade, na área de Exatas.

A maioria das expectativas mudou. Dentre essas mudanças algumas foram positivas, como o surgimento do interesse em pós-graduação *stricto sensu*, desenvolvimento de pesquisa científica e mercado de trabalho. Em contrapartida, houve mudanças negativas, como decepção com as aulas práticas, com o mercado de trabalho

e frustração com o nível de dificuldade do curso, acima do esperado.

Apesar da diversidade de expectativas, durante a graduação houve áreas que obtiveram maior interesse das egressas, dentre elas, as que predominam são Inteligência Artificial (10) e Engenharia de Software (12), seguidas por Algoritmos (5), Computação Gráfica (5) e Redes (3). Após a graduação, 26 dessas egressas seguiu atuando na área que mais lhe interessou; e uma baixa parcela (3) buscou outro curso de graduação.

Profissionalmente, 55% das egressas atuam somente no mercado de trabalho, 27.5% seguiram somente na área acadêmica, 15% foram para outros ramos, e 2.5% atuam tanto no mercado quanto no meio acadêmico. Uma grande parcela concluiu algum tipo de pós-graduação, sendo 20% mestrado, 17.5% doutorado, e 42.5% especializações *lato sensu* diversas.

Ainda que houvesse interesse e vocação das egressas, algumas foram desmotivadas por críticas desconstrutivas. Embora muitas egressas não relataram preconceitos explícitos, ao analisar melhor algumas situações tornou-se perceptível a existência de algum tipo de preconceito. Por exemplo, no curso do campus Cascavel, já foram feitas apostas entre os homens sobre a permanência de mulheres que ingressaram no curso, como se não fossem capazes de concluí-lo, além da atenção reduzida que alguns professores dispensam às alunas quando em grupos de alunos de ambos os sexos.

Embora a maioria das egressas tenha relatado que não, para algumas a escolha do curso levou a críticas negativas, como o discurso de que “isso é curso de homem” e que “o curso é muito difícil”. Na graduação uma minoria relatou que professores e alunos subestimaram suas capacidades de aprovação em alguma matéria.

A maior ocorrência de preconceitos foi após a graduação, no mercado de trabalho. O que se destacou foi a dúvida quanto à capacidade e competência das mulheres, piadas e comentários machistas por ser uma “área masculina”, como “programar como homem”, salários baixos e até assédio. Um relato que chamou a atenção foi o de uma Analista de Sistemas confundida como Secretária por um cliente.

A pouca participação de mulheres na Computação segundo a pesquisa se deve pela falta de informação e incentivo, falta de interesse e de a área ter o estigma de ser predominantemente masculina. Em meio a isso, como motivar as mulheres interessadas em Computação e incentivar sua permanência?

De acordo com as egressas, deve haver maior apoio dos professores às alunas, mostrar o mercado de trabalho e seus salários e ofertar palestras com mulheres bem sucedidas. Para aumentar a participação das mulheres houve as sugestões de: maior divulgação do curso em escolas, desenvolvimento de programas de incentivo, e dar maior destaque à participação feminina na área, que devem ser implementadas como sequência desse projeto.

4. Conclusões

A pesquisa possibilitou conhecer um pouco a realidade das egressas da área de Computação da Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Pode-se certificar que ainda é preciso encontrar formas de motivar mulheres que já possuem interesse na área, e,

mais, criar meios para divulgar a Computação às que não a conhecem, o que pode acarretar em manifestação de interesse. Além disso, há que lhes mostrar que para quebrar o preconceito e as críticas ruins que ainda existem, elas devem se posicionar firmemente durante e após a graduação, insistindo na área para a qual tem vocação.

Como continuidade deste projeto vislumbram-se ações de acompanhamento das alunas no curso, bem como a implementação de ações de divulgação já citadas, buscando também um esforço conjunto com outras sociedades representativas de áreas das Ciências Exatas, para melhor esclarecer os objetivos e o perfil do egresso de cursos da área da Ciência da Computação, desmistificando que é uma área masculina.

Ainda como trabalhos futuros pode-se citar a aplicação de questionário sobre a atuação após a graduação aos egressos, de forma a comparar as realidades de vivências experimentadas pelos homens com as descritas pelas egressas nessa pesquisa. Ainda, comparar os resultados, dentro do que for possível, com pesquisas correlatas.

Referências

- AAUW (2017). The Simple Truth about Gender Pay Gap. Spring 2017 Edition. Technical Report. Disponível em: www.aauw.org/research/the-simple-truth-about-the-gender-pay-gap/ Acessado em: 03 de maio de 2017.
- Burns, A., Bush, R. (2012). *Marketing Research* (7 ed). New Jersey: Pearson Education.
- Casallas, R., Rodríguez, D. H., Hernández, J. T., Ortega, M. F. (2012). Understanding the women participation decline in systems & computing engineering: Case study at the university of los andes, Colombia. In: *XXXVIII Conferencia Latinoamericana En Informatica* (CLEI), p. 1–6.
- Época Negócios (2015). Por que há menos mulheres no setor de tecnologia? <http://epocanegocios.globo.com/Informacao/Dilemas/noticia/2015/08/por-que-ha-menos-mulheres-no-setor-de-tecnologia.html>. Acessado em: 14 de março de 2017.
- Fritz, W. B. (1994). Eniac – A Problem Solver. *IEEE Annals of the History of Computing*, 16(1):25–45.
- Galpin, V. (2002). Women in computing around the world. *ACM SIGCSE Bulletin – Women and Computing*, New York, USA, 34(2):94-100.
- Goldstine, H. H. (1980). *The computer from Pascal to von Neumann*. Princeton University Press.
- IEEE-WIE (2017). IEEE Women in Engineering (WIE). Disponível em http://www.ieee.org/membership_services/membership/women/women_about.html Acessado em: 13 de março de 2017.
- Lagensen, V. A. (2017). The Strength Numbers: Strategies to Include Women into Computer Science. In: *Social Studies of Science*, 37(1):67-92.
- Margolis, J. and Fisher, A. (2003). *Unlocking the clubhouse: Women in computing*. MIT press.
- Nelson, B. (2014). The data on diversity. *Communications of the ACM*, 57(11):86–95

O Computar em uma Perspectiva Queer: considerando os espaços hacker e maker

Leander Cordeiro de Oliveira, Marília Abrahão Amaral

¹Programa de Pós-graduação em Tecnologia e Sociedade– Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

leander@alunos.utfpr.edu.br, mariliaa@utfpr.edu.br

Abstract. *Sociocultural constructions and reconstructions are constant and this process is based on the values that are permeated among people. Computation and its environments, systems and people experience this process and can end up constructing normative and exclusionary situations. It is through these constant changes that this article intends to present a theoretical debate about the normativities of the area, understanding the Hacker and Maker movements and the deconstructions proposed by Queer Theory as a possibility for an opening.*

Resumo. *Construções e reconstruções socioculturais são constantes e este processo se pauta nos valores que estão permeados entre os sujeitos. O fazer computacional e seus ambientes, sistemas e sujeitos vivenciam este processo e podem acabar construindo situações normativas e excludentes. É por meio destas constantes mudanças que o presente artigo pretende apresentar um debate teórico acerca das normatividades da área, compreendendo como uma possibilidade de abertura os movimentos Hacker e Maker e as desconstruções propostas pela Teoria Queer.*

1. Introdução e Contexto da Pesquisa

Espaços podem ser construídos carregando diferentes valores, advindos de lutas de poder, que enviesam suas ocupações e delimitações [HALL, 1997]. A constituição dos espaços, também compreendidos aqui como cultura, onde se dá o fazer computacional passa por este processo, constituindo-se por meio de valores e práticas advindas de um contexto sociocultural que representa as relações entre os sujeitos e suas percepções envolvidas nestes processos.

Conforme escreveu Butler (2009), situações opressoras, marginalizadoras e até mesmo de violência podem surgir em diferentes contextos, sendo um deles relacionado aos indivíduos que não vivenciam gênero e sexualidade dentro da matriz normativa de valores sociais. Algumas pesquisas, por meio de relatos e estatísticas, vêm demonstrando que grupos que fogem aos padrões normatizados de gênero e sexualidade não se sentem satisfatoriamente representados nos ambientes onde se constrói a computação, incluindo outros espaços educacionais, dando o sinal de situações normativas e excludentes [Associação Brasileira de Lésbicas, Gays, Bissexuais, Travestis e Transexuais, 2016; Stout; Wright, 2016; Trenshaw et al., 2013].

Questionar a construção dos espaços em que o computar é feito torna-se importante para problematizar a construção de normatividades na cultura da área. Alguns espaços informais, compreendidos aqui por meio dos movimentos Hacker e

Maker, são uma possibilidade para aberturas neste sentido. Dessa forma, este documento pretende apresentar perspectivas teóricas para uma reflexão acerca do que se compreende como uma cultura da área da computação e como pode ser possível romper as hegemonias culturais normativas percebidas por meio desta observação.

2. Alguns movimentos e espaços

O movimento Hacker surgiu entre as décadas de 50 e 60 no *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) entre um grupo de jovens aficionados por ferromodelismo [Levy, 2001]. Este grupo desenvolvia artefatos para aprimorar seus projetos e o espaço que tinha disponível. Dessa relação surgiram palavras utilizadas pelos participantes na comunicação, construindo um vocabulário. Dentre os termos, está o *hack* que significa um projeto desenvolvido não necessariamente com um objetivo construtivo, mas por algum prazer selvagem ou o puro envolvimento [Levy, 2001]. Este termo acabou por influenciar o nome do movimento que se desenvolveu a partir de então, pautado em seu significado original.

O movimento Maker se intersecciona com o Hacker em diversos aspectos. Apesar de não haver um consenso sobre as diferenças entre estes espaços [Mattos, 2015], no movimento Maker há um envolvimento de artefatos físicos e da ideia de construção e prototipagem, podendo extrapolar artefatos digitais e eletrônicos, estes mais relacionados ao Hacker. Blikstein (2013) relata que em meados dos anos 2000, pesquisadores e educadores passaram a demonstrar interesses nestes movimentos em espaços educativos, desenvolvendo ações para proporcionar laboratórios dessa natureza, principalmente nos Estados Unidos. Acerca desta relação crescente em contextos educacionais, é possível a construção do conhecimento acontecer de maneira mais significativa com a manipulação de artefatos físicos em situações contextualizadas com as realidades do sujeito ou sua comunidade [Freire, 1983].

Apesar da visão progressista frente às problemáticas da educação, é importante construir uma reflexão crítica acerca dos sujeitos envolvidos nos espaços onde o computar é concebido. Por meio dos variados sistemas de significados que os sujeitos utilizam para conceber e regular condutas, a ação social torna-se significativa tanto para aqueles que estão diretamente envolvidos, quanto para aqueles que estão em seu entorno [Hall, 1997]. Com esta reflexão, indaga-se a possibilidade de os movimentos Hacker e Maker poderem ser compreendidos como potenciais espaços para a construção coletiva de empoderamento e apropriação do fazer computacional para a diferença.

Para a compreensão acerca dos espaços onde a computação é construída, é preciso extrapolar os ambientes formais e institucionais. Dessa forma, compreendem-se diferentes tipos de espaços onde distintos processos educacionais se desdobram. Alguns laboratórios e iniciativas comunitárias¹ figuram nesta perspectiva, aliando valores de liberdade e experimentação, advindos da cultura hacker. Estes espaços podem ser importantes para a construção cultural da área, pois muitas vezes atuam no papel de envolvimento inicial com a computação. A presença da diferença nestes ambientes é um importante caminho para repensar a computação, na dialógica entre diferença e norma.

3. Gênero e Sexualidade

Os autores Hall (1997) e Louro (2016) debatem os processos culturais de maneira a compreender as construções e desconstruções constantes. Ao tratar dos

¹ Algumas iniciativas brasileiras que seguem esta perspectiva e podem ser citadas são o MariaLab Hackerspace <<http://marialab.org/>>, o Olabi Makerspace <<http://olabi.co/>> e sua iniciativa PretaLab <<https://olabi.typeform.com/to/qe4tsA>>, a iniciativa Progra{m}aria <<https://www.programaria.org/>>.

tensionamentos existentes dentro das questões de gênero e sexualidade, é importante pensar em uma abertura dialógica onde os sujeitos possam compreender a diferença e absorver as vivências e saberes de cada um. Ao envolver valores de colaboração, conhecimento e liberdade, a cultura hacker apresenta uma forte relação de empoderamento e busca de conhecimento por desejo e desafio [Varga; Diaz, 2012], apresentando-se como um espaço possível para uma convivência dialógica.

Uma vez que a constituição da individualidade se dá na observação e marcação da diferença no outro, assim vindo a delimitar os espaços, é importante para os sujeitos legitimados se manterem em posição “não contaminada” em relação ao seu diferente, para que assim se sustentem as hierarquias [Louro, 2016]. É por meio da busca de quebras nestas relações que se pautam as transgressões à hierarquização de grupos sociais, que se espera alcançar uma cultura de compreensão crítica à heterogeneidade entre sujeitos.

Neste sentido, Louro (2016), traz uma compreensão mais ampla do que se denomina por Teoria Queer, afirmando que não existe, contudo, uma homogeneidade de propostas, políticas, metodologias, mas sim um teor descentrador e desconstrutivo, com propostas de rupturas epistemológicas visando novas maneiras de conhecer. Louro (2016) destaca que existe uma centralidade dos debates *queer* acerca do binarismo heterossexualidade/homossexualidade, uma vez que os teóricos a compreendem como uma importante articuladora sociocultural. A Teoria Queer pode ser definida como pós-identitária, transpondo o foco de análise, perpassando pela cultura, para as estruturas linguísticas e discursivas e seus contextos institucionais. Constrói-se assim uma política de conhecimento cultural, que busca compreender outra forma de pensar, saber e conhecer.

3. Desdobramentos na Educação

Os espaços Hacker e Maker podem ser analisados dentro da perspectiva de espaços formadores. Desta forma, é possível questionar as estruturas dentro das perspectivas apontadas por Louro (2016). A formação dos sujeitos acontece de maneira que envia as relações de poder e saber, em configurações que muitas vezes acabam por desconsiderar a diferença nestes processos. A educação pensada para a hegemonia é problematizada por meio da proposta de uma concepção pedagógica pautada no atrito entre diferença e norma, permitindo reconfigurar papéis no decorrer deste processo.

O ato de estranhar o currículo diz respeito a um movimento de desconcertá-lo, transtorná-lo, ultrapassar seus limites. É um caminho que faz com que se desconfie do que está posto, em benefício ao que se pode vir a saber. Não se trata de incorporar novos sujeitos ao currículo, mas sim de questionar o corpo de conhecimentos que está posto, os caminhos que levaram a tal e ainda a necessidade da existência deste corpo de conhecimentos pré-estabelecido e visto como seguro [Louro, 2016].

A concepção sexo-gênero-sexualidade, que naturaliza em uma perspectiva biologicista os estereótipos de gênero e os comportamentos sexuais, está presente no currículo, fazendo deste um texto generificado e sexualizado. A lógica que pressupõe sexo como algo natural, que indica o gênero e, por fim, o desejo sexual, acaba por construir a ideia de uma heterossexualidade e cisgeneridade compulsórias, reservando situações abjetas aos sujeitos que não habitam a centralidade deste currículo.

O binarismo conhecimento/ignorância é problematizado por Louro (2016) que aponta a importância de compreender a ignorância como uma maneira de saber. A ignorância é colocada como uma implicação do conhecimento, não uma incapacidade

cognitiva de aprender algo. É concebida dentro da ideia da existência de limites de saber, também presentes no polo do conhecimento, demonstrando que todos os conjuntos de saberes são limitados, pensados dentro de uma lógica condizente com os sujeitos e processos que a formam. A resistência em aprender é colocada em uma perspectiva cultural, demonstrando que a compreensão acerca deste tipo de construção pode trazer algumas respostas acerca da recusa de aceitação da diferença, uma vez que esta ultrapassa os saberes de determinado grupo e invade outro conjunto de conhecimentos, cada um com suas próprias barreiras.

A construção de espaços *hacker/maker* em uma perspectiva *queer* poderia tensionar os saberes de forma a expandir as barreiras do corpo de conhecimentos que existe entre norma e diferença e o que se espera de um fazer computacional. Isso faz com que seja importante pensar fora da lógica segura e ultrapassar os limites esperados para que estes saberes se tornem transponíveis e as situações abjetas diminuam. É por meio da curiosidade que tais espaços podem ser pensados, estimulando novos processos e transformando as relações educativas por meio da incorporação de diferentes perspectivas.

Referências

- Associação Brasileira de Lésbicas, Gays, Bissexuais, Travestis e Transexuais. Secretaria de Educação. Pesquisa Nacional sobre o Ambiente Educacional no Brasil 2015: as experiências de adolescentes e jovens lésbicas, gays, bissexuais, travestis e transexuais em nossos ambientes educacionais. Curitiba: ABGLT, 2016.
- Blikstein, P. Digital Fabrication and 'Making' in Education: The Democratization of Invention. In: Walter-Herrmann, J.; Büching, C (Eds.). FabLabs: Of Machines, Makers and Inventors. Bielefeld: Transcript Publishers, 2013.
- Butler, J. Performatividad, Precariedad y Políticas Sexuales. Revista de Antropología Iberoamericana, Madri, v.4, n.3, , p. 321-226, 2009.
- Freire, P. Extensão ou Comunicação? Ed. 7. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1983.
- Hall, S. A Centralidade da Cultura: notas sobre as revoluções culturais do nosso tempo. Revista Educação e Realidade, Porto Alegre, v. 22 n. 2, jul/dez, p. 15-46, 1997.
- Levy, S. Hackers: heroes of the computer revolution. Dell PublishingCo., 2001.
- Louro, G. L. Um Corpo Estranho – Ensaio sobre sexualidade e teoria queer. 2ed. Belo Horizonte: Autêntica, 2016.
- Mattos, E. A. C.; Silva, D. F.; Kós, J. R. Hackerspaces: espaços colaborativos de criação e aprendizagem. V!RUS, São Carlos, n. 10, 2015.
- Stout, J. G.; Wright, H. M. Lesbian, Gay, Bisexual, Transgender, and Queer Students' Sense of Belonging in Computing: An Intersectional Approach. Revista IEEE Computing in Science & Engineering, Maio-Junho, 2016.
- Trenshaw, K. F.; Hetrick, A.; Oswald, R. F.; Vostral, S. L.; Loui, M. C. Lesbian, Gay, Bisexual, and Transgender Students in Engineering: Climate and Perceptions. IEEE Frontiers in Education Conference (FIE), Oklahoma City, p. 1238-1240, 2013.
- Varga, S; Diaz, E. V. A Colaboração No Ambiente Educativo Face As Novas Tecnologias E A Ética Hacker. In: Amaral, S. F.; Pretto, N. de L. (Eds.). Ética, Hacker e a Educação. Campinas, SP: FE/UNICAMP, 2012.

Construção identitária das mulheres no campo da computação. Imagens reforçadas, distâncias ampliadas

Pricila Castellini¹, Marília Abrahão Amaral²

¹Programa de Pós-Graduação em Tecnologia e Sociedade - Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) Av. Sete de Setembro, 3165 - CEP 80230-901 - Curitiba – PR

²Departamento Acadêmico de Informática - Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

pricilacas@hotmail.com,marilia.utfpr@gmail.com

Abstract. *This paper analyzes identities of women build upon Programaê's images based on Discourse Analysis. These images sustain discursively representations of styles and identities formed socially, culturally, and historically that reinforces man/women, male/female binarism. In this theoretical perspective, we present 3 images of our corpus (N=50) in order to highlight the reproduction of binarism in computation.*

Resumo. *Este artigo analisa, com base em Análise de Discurso, as identidades construídas das mulheres na divulgação do Programaê. O Programaê divulga imagens que constroem discursivamente representações de estilos e identidades formadas socialmente, culturalmente e historicamente que reforçam os binarismos homem/mulher, masculino/feminino. Nessa perspectiva teórica, são apresentadas três imagens do corpus (N=50) para destacar a reprodução e reforço dos binarismos da computação.*

1. Contexto inicial

Programaê¹ é um programa que apresenta a computação para jovens de todo o Brasil. A proposta do programa é aproximar a programação ao cotidiano de jovens, mas apesar de a proposta ser a todos, exclui aquelas pessoas que não se identificam com a representação dos personagens que o programa propõe. Turkle & Papert (1990) indicam que a computação tem um histórico de preconceito e discriminação contra mulheres .

O Programaê utiliza-se de redes sociais a fim de atingir o público-alvo do programa. Até a análise deste artigo, foram disponibilizadas 850 imagens, em grande parte criação própria, bem como vídeos com pessoas contratadas com objetivo de popularizar suas ações. O *corpus* deste artigo é composto de 50 imagens e oito vídeos.

A análise das imagens e vídeos são à luz das lentes epistemológicas da análise de discurso (AD) proposta por Michel Pêcheux. Para as análises, utiliza-se a noção de memória e discurso. Memória é o já dito no discurso; e discurso são os efeitos de sentido entre interlocutores tendo em vista que as relações de sentido no discurso e na semântica possuem uma formalização dialogável [PÊCHEUX, 1982].

1 Trata-se de um espaço para mostrar ao mundo que a programação é para todos, mobilizando cada vez mais pessoas em torno dessa causa. Para isso, ele reúne as melhores e mais simples ferramentas para aprender e ensinar a programar. Todas elas são gratuitas, em português e não exigem nenhum conhecimento prévio em programação. O propósito é “agregar ideais, soluções e dicas de gente experiente e inspiradora” (PROGRAMAÊ, 2017). Disponível em: <http://programae.org.br/#saibamais> Acesso em: 02 de abril de 2017.

Já que os discursos permeiam a vida das pessoas e influenciam no modo de agir e pensar e são, em geral, perpetuados nos espaços de convivência (escola, igreja, família, mídia, ciberespaço, web), analisa-se de que forma esses espaços podem reforçar questões relacionadas aos binarismos homem/mulher. A seção 2 traça um olhar sobre os percursos da construção identitária das mulheres na história; e seção 3 analisa três imagens disponibilizadas via *web*.

2. Percursos das mulheres na história

As manifestações contra preconceito e discriminação das mulheres começaram a adquirir visibilidade com o “sufragismo”, um movimento para estender o direito ao voto para as mulheres. Esse movimento ganhou amplitude no Ocidente e foi reconhecido como a “primeira onda do feminismo” [LOURO, 1998, p. 15]. No final da década de 1960, o feminismo se preocupava com questões políticas, sociais, legais, criticando a noção de mulher como ser universal. Foi um momento de estudos e lutas do movimento feminista, exigindo o reconhecimento das diferenças e denominado como a “segunda onda do feminismo” [LOURO, 1998, p. 15].

Com esses debates envolvendo estudiosas, militantes, críticos e críticas, e considerando a importância de expandir o feminismo para um grupo diversificado de pessoas com um conjunto de identidades variadas, é problematizado o conceito de gênero que faz parte da chamada “terceira onda” [LOURO, 1998, p. 15]. Embora considere de real importância o posicionamento de “terceira onda”, este trabalho tem como recorte a imagem das mulheres em espaços da área de computação.

Na área da computação, há evidências de que as mulheres são excluídas, e suas contribuições são invisibilizadas. Em uma discussão sobre pluralismo epistemológico Turkle & Papert (1990) dizem que a computação canônica, através do ensino, exclui pensamentos diferentes. Este artigo defende que a computação deve buscar novas epistemologias; para esse fim, contribui com Análise de Discurso sobre os papéis estereotipados no Programaê.

No livro *Unlocking the Clubhouse: Women in computing*, Margolis & Fisher (2002) escrevem sobre a “quase” ausência de vozes femininas em locais de trabalho, na ciência, tecnologia, e na sociedade, e em outros espaços são construídos em torno de modelos culturais predominantemente masculinos [MARGOLIS; FISHER, 2002, p. 2]. Janete Abbate (2012) evidencia a predominância de homens nos cursos da área computação e relata que a participação das mulheres envolve suposições generalizadas sobre habilidades técnicas que afetaram tanto a inclinação das mulheres para escolher a computação e suas mudanças de contratos imperativos culturais que são diferentes para homens e mulheres, no mercado de trabalho, por exemplo, pois há estereótipos populares sobre o que é a computação e para quem é melhor.

3. AD das imagens de divulgação do Programaê

Os discursos se relacionam pelo processo definido como relação de sentidos, em que um discurso se sustenta em outro discurso, que circulou antes em outro lugar e retorna como memória [Pêcheux, 1982].

As percepções das imagens nos meios de comunicação são condicionadas politicamente, socialmente e culturalmente. Magalhães (2005) enfatiza que “os

produtores dos textos publicitários moldam as identidades dos leitores mediante as percepções da realidade que são comuns entre ambos; apenas o que valoriza a auto-identidade do leitor e da leitora é considerado” [MAGALHÃES, 2005, p. 241].

As imagens² analisadas produzem e instituem informações que “não apenas educam homens e mulheres, meninos e meninas, mas atuam na construção de suas identidades culturais”[FURLANI, 2009, p. 132–133]. Os diversos conteúdos atuam também na construção identitária dos indivíduos.



Figura 1: Exemplo de estereótipo feminino



Figura 2: Mensagem reforçando estereótipo masculino

A personagem mulher na **Figura 1** é loira, branca, com estereótipo de feminilidades que exclui mulheres e meninas que não se identificam com tal estereótipo. O personagem homem é branco, guerreiro, como todos os personagens homens que é disponibilizado nas comunicações do Programaê, como exemplo a **Figura 2**.

“Alguns programadores não comentam seus códigos...” Além da representação do “eu” ser de um homem branco, a mensagem verbal não inclui mulheres, ou neste caso – programadoras? Ao singularizar sexo e gênero, as figuras esconde e omite diversas maneiras de feminilidades e masculinidades na sociedade. Além de demonstrar papéis que são esperados que as pessoas assumam na sociedade, de certo modo ocultando a cultura, a política, a ideologia.

O personagem homem, branco da **Figura 2** é representado em 15 das imagens analisadas via *web* pelo Programaê. A figura de um homem e o texto verbal remetem-se a imagem de *nerd*. As características das pessoas *nerd* está marcada no imaginário da computação e no imaginário popular atrelado à figura masculina.

Entre repetições e apagamentos, o termo *nerd* associado à imagem da pessoa programadora existe porque há uma relação entre enunciado e sujeito constituída pelo histórico, e, deste modo, pela memória. A memória é para Pêcheux (1998) crucial para compreender a relação com o discurso, pois no processo de repetição a imagem é formada e instaurada no imaginário social, e quando apagada, ou seja, quando não é enunciada pelos sujeitos no ato de fala é esquecida. Tal esquecimento é temporário, toda vez que o termo aparece retorna como memória as construções sociais, culturais e

² Fonte: *Website*: <http://programae.org.br/>; *Facebook*: <https://www.facebook.com/programaebrazil/>; *Instagram*: <https://www.instagram.com/programaebrazil/>

ideológicas associado à imagem construída, neste caso, a relação entre o *nerd* e a computação.

A **Figura 3** apresenta uma das personagens que circula nas ferramentas de comunicação do Programaê. Entre as poucas mulheres que são representadas nas imagens, está uma princesa.



Figura 3: Princesa programadora

Uma personagem princesa acompanhada de um texto verbal: “Aquele momento em que você descobre que a princesa é de exatas” retorna o imaginário de que as mulheres que se veem princesas também podem ser da área. Porém, ao utilizar uma personagem princesa como representação, afasta as mulheres que não se identificam com tal construção do “eu” e reforça estereótipos de beleza e submissão.

Seria a linguagem então um meio para legitimar (ou não) a construção histórica de uma sociedade sexista, misógina, machista? Furlani (2009) relata que a linguagem é aspecto central da problematização sobre assuntos sociais e culturais. Neste contexto, as imagens possuem sentidos, os textos das propagandas e outras mídias ensinam como as pessoas devem relacionar-se com o mundo, e quais valores devem ser aceitos socialmente para cada pessoa. E desse modo, sugerem certos modelos, comportamentos que excluem, que contribuem, reforçam, mantêm e regulam regras sociais.

No caso das 50 imagens analisadas, apesar de a proposta do Programaê ser de inclusão de todos e todas na área de computação, ela ainda é contraditória, pois demonstra estereótipos de mulheres como princesas e reforça o conceito de que pessoas que atuam na computação são majoritariamente homens brancos heterossexuais, já que descartam outros personagens, como por exemplos, mulheres que não se identificam com a personagem princesa, negros e negras, pessoas com deficiência.

À medida que as lutas do feminismo tentam liberar as mulheres da imagem associada à beleza, fragilidade, estereótipos, o Programaê acredita aproximar meninas/mulheres da computação por meio de uma representação que reforça identidades hegemônicas, que exclui outras e podem contribuir, manter, regular e subverter regras e modelos. Além de explicitar as identidades e fixar, posicionam os indivíduos em um modelo de patriarcado universal.

4. Considerações finais

Os discursos, as imagens, vídeos sobre beleza e representação de personagens de princesas podem construir identidades, construções imaginárias e discursivas que excluem pessoas, ou seja, criam modelos estereotipados no imaginário social. A AD, nesta perspectiva é um caminho para o estudo do discurso em conteúdos digitais / na

web, tendo em vista que as relações estabelecidas nestes espaços e fora deles, com os sujeitos envolvidos são construídas historicamente.

O Programaê, em sua proposta, aponta para que os e as participantes venham a conhecer e desenvolver a computação, mas de certa forma excluem sujeitos que não se identificam com os estereótipos formados nos personagens. Os desdobramentos dessas representações nas imagens do Programaê constroem e reforçam que a computação ainda é um espaço de predominância da figura masculina, e para as mulheres se aproximarem da área são estereotipadas com papéis de princesas e vídeos que as associam à beleza. As representações das imagens do Programaê produzem maneiras de ser, agir e pensar ao demonstrar homens e mulheres e quais os valores que são aceitos socialmente para cada um e uma.

5. Referências

- Abbate, J. “Recoding gender: women’s changing participation in computing”. [S.l.]: MIT Press, 2012.
- Furlani, J. “Representações da mulher e do feminismo na mídia impressa brasileira - desconstruindo significados na Educação Sexual”. Sexualidade / Secretaria de Estado da Educação. Superintendência de Educação. Departamento de Diversidades. Núcleo de Gênero e Diversidade Sexual. – Curitiba : SEED – Pr. Curitiba: [s.n.], 2009. p. 216.
- Louro, G. L. “Gênero, sexualidade e educação: uma perspectiva pós-estruturalista”. Petrópolis: Editora Vozes : CNTE, Confederação Nacional dos Trabalhadores em Educação, 1998.
- Magalhães, I. Análise do discurso publicitário. v. 4, n. 1 e 2, p. 231–260, 2005.
- Margolis, J; Fisher, A. “Unlocking the clubhouse: Women in computing”. 2002. ed. [S.l.: s.n.], 2002.
- Pêcheux, M. “Ler o arquivo hoje”. Gestos de leitura: da história no discurso. 1994. ed. São Paulo, SP: Editora da Unicamp, 1982. p. 55–66.
- Programaê. “Website da empresa de programação para jovens do Brasil”. 2017. Disponível em: <http://programae.org.br/>. Acesso em: 02 de abril de 2017.
- Turkle, S; Papert, S. “Epistemological Pluralism and the Revaluation of the Concrete”. Journal of Mathematical Behavior. v. 11, n. 1, 1991, 1990 1990. Disponível em: <<http://www.papert.org/articles/EpistemologicalPluralism.html>>. Acesso em: 11 abr. 2016.

Uma Pesquisa com Alunas do Ensino Fundamental e Médio sobre os Cursos da Área de Computação

Maristela Terto de Holanda, Roberto Mourão, Guilherme N. Ramos, Aleteia
Patrícia F. de Araújo, Maria Emília T. Walter

Departamento de Ciência da Computação – Universidade de Brasília (UnB)
Campus Darcy Ribeiro - CEP 70910-900 – Brasília – DF – Brasil

{mholanda,gnramos,aleteia,mariaemilia}@unb.br,
roberto.mourao@aluno.unb.br

Abstract. *This article reports the results of a survey research applied by Meninas.comp Project, performed from 2011 to 2014, about the perception of Brasília's middle and high school students of the area of computer science. The research was applied during the Semana Nacional de Ciência e Tecnologia with a paper form. From this collection composed of 3,707 respondents, analyzes were carried out with the R program, and some discussions about the importance of the family and the interest for Comuptation by school level are presented.*

Resumo. *Este artigo apresenta dados coletados pelo Projeto Meninas.comp sobre a percepção das meninas do ensino fundamental e médio em Brasília em relação ao curso de Ciência da Computação. A pesquisa foi aplicada durante os anos de 2011, 2012, 2013 e 2014 por meio de um formulário em papel durante a Semana Nacional de Ciência e Tecnologia (SNCT). A partir dessa coleta composta de 3.707 respondentes, foram realizadas análises com o programa R, e algumas discussões sobre a importância da família e o interesse por Comuptação por nível escolar são apresentados.*

1. Introdução

O Brasil tem em média apenas 17% de concluintes do sexo feminino em diferentes cursos de computação nos anos de 2000 a 2013, envolvendo Ciência da Computação, Engenharia da Computação, Sistema de Informação dentre outros (Maia, 2016). Especificamente na Universidade de Brasília, que atualmente tem aproximadamente 30.000 alunos em cursos de graduação, a realidade é ainda pior, pois nos últimos 10 anos, segundo (Holanda *et al*, 2016) esta média é de apenas 10%. Essa realidade também pode ser observada em outros países (Abbate, 2012),(Khan *et al*. 2016), (Keinan, 2017), (Vardi, 2015), (Stout, 2017).

Com o intuito de ter informações a respeito do pensamento sobre os cursos de computação, das meninas do ensino fundamental e médio, o Departamento de Ciência da Computação da Universidade de Brasília, com o auxílio do Departamento de Estatística, elaborou um questionário, composto por 14 questões de múltipla escolha, preenchido pelas meninas de escolas do ensino fundamental e médio, entre 2011 e 2014. Neste contexto, o objetivo deste artigo é apresentar uma análise dos dados coletados nesta pesquisa e apresentar pontos para discussão, como a importância da família na escolha do curso e o interesse pela área de Computação a partir do seu nível escolar.

Para isso, este artigo está dividido nas seguintes seções. Na Seção 2 é apresentado o questionário aplicado na Pesquisa. Na Seção 3, os resultados considerados mais importante são descritos, pois a pesquisa é composta por 14 questões, porém, por limitação de espaço apenas 4 são apresentadas. Na Seção 4 é apresentada uma breve discussão dos resultados. Por fim, a Seção 5 apresenta algumas considerações finais sobre os resultados apresentados.

2. A Pesquisa

Durante os anos de 2011 a 2014, no evento Semana Nacional de Ciência e Tecnologia do Ministério de Ciência e Tecnologia (SNCT) do Brasil, realizado em Brasília, envolvendo estudantes do ensino fundamental, médio e superior do Brasil, foram aplicados os questionários da pesquisa. O público alvo da aplicação do questionário deste artigo foi meninas do ensino fundamental e médio, que responderam sobre as suas percepções em relação à Computação.

O questionário foi elaborado pelo Departamento de Computação, em colaboração com o Departamento de Estatística, da Universidade de Brasília. O formulário é composto por questões como: sexo; série escolar; qual área de estudos pretende prestar vestibular (Exatas, Biológicas ou Humanas); se está pensando em fazer um curso superior para Computação; questões gerais de percepção sobre computação, tais como, o local onde costuma usar o computador, atividades realizadas no computador; questões específicas, para serem respondidas com sim, não ou talvez, tais como, trabalhar em computação dá prestígio? Quem trabalha em computação ganha bem? Entre outras.

Os questionários foram impressos pelo CESPE (Centro de Seleção e Promoção de Eventos da Universidade de Brasília), e após aplicados pelos membros do projeto Meninas.comp na SCNT, o próprio CESPE faz a leitura e processamento os dados das respostas dos participantes da pesquisa. Após isso, os resultados são devolvidos em forma de planilha e imagem de todos os formulários das pesquisas.

3. Resultados da Pesquisa

Entre 2011 e 2014, o questionário de Percepção sobre a Computação foi aplicado para meninas do ensino fundamental e médio, em escolas e feiras de ciências no Distrito Federal. No total foram preenchidos 1.821 questionários em 2011, 944 em 2012, 517 em 2013 e 425 em 2014, totalizando 3.707 questionários respondidos. No primeiro ano da coleta de dados, o questionário foi aplicado com uma equipe composta por cinco docentes e 10 alunas bolsistas durante os sete dias da feira, coletando assim o maior número de formulário. A diminuição do número de respostas ao logo dos anos deu-se basicamente pela redução da equipe, composta inicialmente por 5 docentes e 10 alunas, chegando ao final a ter apenas uma docente e cinco alunas voluntárias. Em 2016 o evento não aconteceu como nos anos anteriores. Em seguida, são apresentados os resultados de algumas análises.

A primeira análise realizada foi em relação à questão “Para qual área você pretende fazer um curso superior?”. Como apresentado na Figura 1, a área de Ciências Exatas (*Exact Sciences*) é a que tem menor interesse, comparando com a área de Saúde (*Biology-Health Sciences*) e Ciências Humanas (*Human Sciences*).

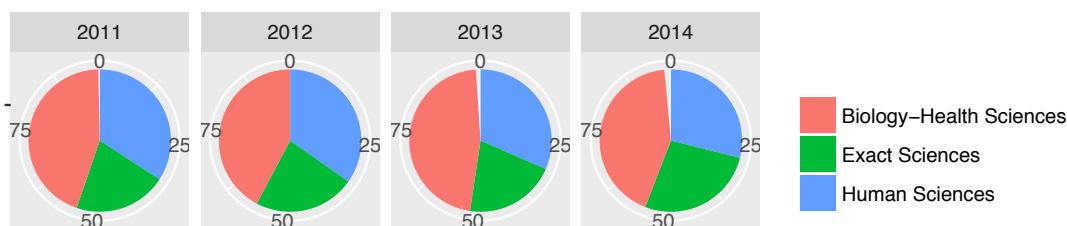


Figura 1. Resultado à Pergunta “Área de Interesse para Curso Superior”.

Com a pergunta “Você está pensando em fazer um curso superior para computação?“, conforme pode ser observado na Figura 2, no ano de 2011 houve um número grande de meninas respondendo sim (Yes). Todavia, é importante ressaltar que o ano de 2011 foi diferente dos anteriores, pois foram coletadas informações com alunas da quinta série do ensino fundamental até o terceiro ano do ensino médio. Nos anos seguintes, por falta de pessoas na equipe, decidiu-se coletar informação apenas das alunas do nono ano do ensino fundamental e das alunas do ensino médio.

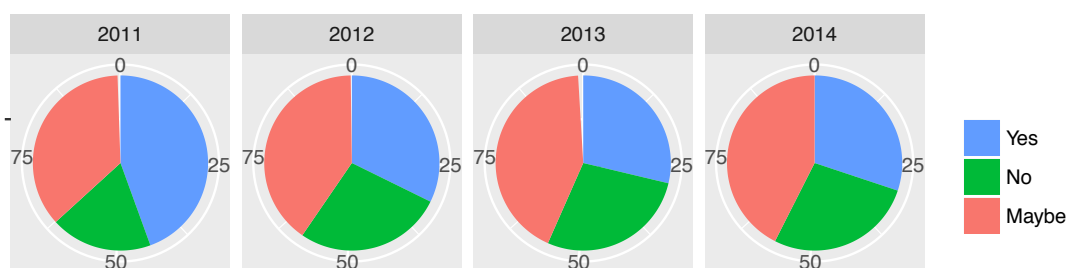


Figura 2. Resultado à Pergunta “Você está pensando em fazer um curso superior para Computação?”.

O próximo passo da análise objetivou ter informações de diferentes questões do ponto de vista do interesse em fazer um curso de computação (*CS_Interest*). A Figura 3 apresenta o resultado da pergunta do interesse em cursar computação por nível escolar. Aqui tem-se duas questões interessantes: *i*) o terceiro ano (*Treatment High School-12th grade*) teve o menor índice de resposta SIM (Yes); *ii*) o ensino fundamental (*Treatment Middle School*) teve o maior número de resposta SIM (Yes).

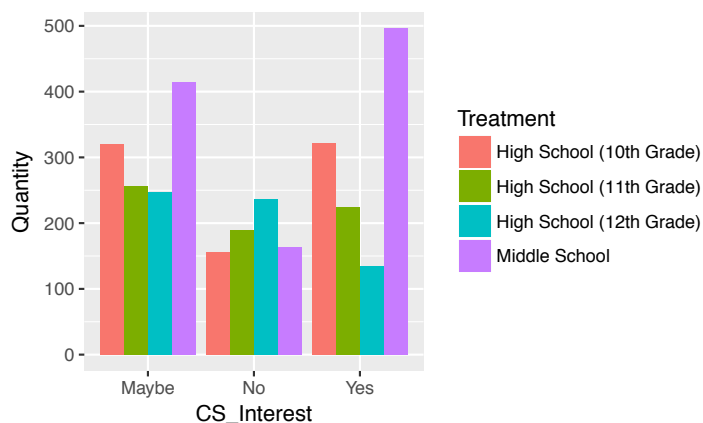


Figura 3. Resultado à Pergunta “Interesse em fazer Computação” por Nível Escolar.

Em relação à questão “A sua família gostaria que você fizesse vestibular para computação?“, o resultado é apresentado na Figura 4. E como pode ser notado, fica clara a importância da aprovação da família na escolha de um curso de Computação. Dentre as meninas que responderam que teriam interesse em fazer o curso de computação ($CS_Interest = Yes$), a grande maioria tem a aprovação da família ($Treatment\ Yes$).

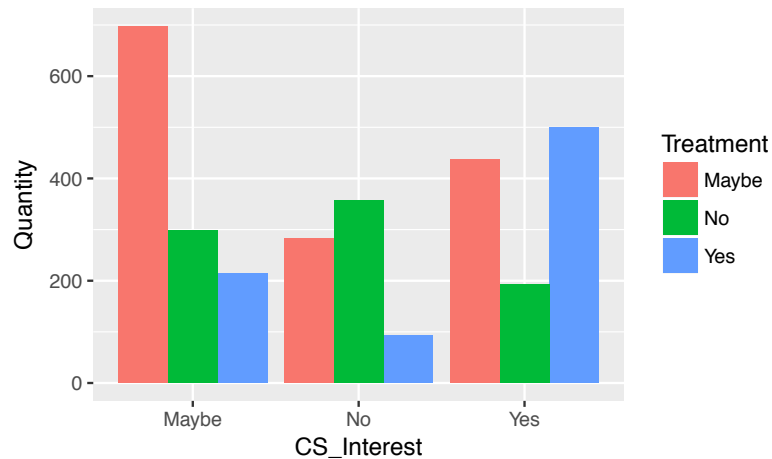


Figura 4. Resultado à Pergunta “A sua família gostaria que você fizesse vestibular para computação?”.

4. Discussão dos Resultados

Após a análise dos 3.070 questionários, há alguns pontos importantes que devem ser observados:

- Ações para alunas do ensino fundamental deve ter um efeito mais produtivo do que no ensino médio, pois nota-se que no ensino médio muitas meninas já estão com suas decisões tomadas. Vivenciamos essa questão na prática do nosso projeto, onde quarto alunas do ensino médio já tinham seus sonhos de profissão definidos, e hoje elas fazem Medicina, Direito, Arquitetura e Física na Universidade de Brasília;
- Como já apresentando em outros estudos, como em (Sanboya, 2009) com alunas dos cursos de Engenharia Elétrica e Ciência da Computação, um dos elementos externos a escolha do curso é o apoio da família. A aprovação da família é um item muito importante na escolha de um curso superior.

5. Conclusões

A área de Computação, nos últimos anos, tem tido uma nítida redução na participação de mulheres, indicando que as meninas não têm tido interesse em se formar e seguir carreira na área. Contudo, a presença feminina na área é fundamental, pois as empresas precisam ter a visão dos dois gêneros na produção de tecnologia, pois a tecnologia, embora produzida pelos homens, é consumida pelas mulheres também.

Em relação a pesquisa realizada, dois fatores importantes foram evidenciados, sendo esses: (i) que ao longo dos anos as meninas começam a perder o interesse em Computação, uma vez que ao comparar o número de alunas interessadas em computação é bem maior que as do ensino médio; (ii) a importância do apoio da família na escolha de um curso superior.

Assim, este artigo apresentou alguns dados que podem subsidiar ações com o intuito de trazer mais mulheres para a computação, realizar atividades com alunas do ensino fundamental e apresentar para a família das alunas da área de computação e a necessidade de ter mais mulheres no mercado de trabalho.

Como trabalho futuro, pretende-se melhorar a análise dos dados, aplicado técnicas de mineração de dados, assim como também analisar um maior número de várias, uma vez que o formulário é composto de 14 questões.

Referências

- Abbate, J. (2012). *Recoding gender: women a changing participation in computing*. MIT Press. Cambridge, Massachusetts.
- Holanda, M., Walter, M. E. T., Araujo, A. (2016). *Meninas.comp: Computação também é coisa de Menina*, Revista Participação, n. 26, pg. 9-29, ISSN 2238-6963. Disponível em: <http://periodicos.unb.br/index.php/participacao/article/view/18788>. Acessado em Março de 2017.
- Keinan, E.. (2017). "A New Frontier: But for Whom? An Analysis of the Micro-Computer and Women's Declining Participation in Computer Science". CMC Senior Teses. 1466. Claremont Colleges. Disponível em http://scholarship.claremont.edu/cmc_theses/1466. Acessado em Março de 2017.
- Maia, Marcel Maggion. (2016). *Limites de gênero e presença feminina nos cursos superiores brasileiros do campo da computação*. Cadernos Pagu. n.46, pp. 223-244. ISSN 1809-4449. <http://dx.doi.org/10.1590/18094449201600460223>.
- Sanboya, M. C. L. (2009). *Alunas de Engenharia Elétrica e Ciência da Computação; estudar, inventar, resistir*. Tese de Doutorado da Universidade de São de São Paulo. Faculdade de Educação.
- Vardi, Moshe Y., What Can Be Done about Gender Diversity on Computing? A lot! OCTOBER 2015. 58 (10). *Communications of The ACM*.
- Stout , Jane G., Victoria A. Grunberg, Tiffany A. Ito. *Gender Roles and Stereotypes about Science Careers Help Explain Women and Men's Science Pursuits* . *Sex Roles* (2016) 75:490–499 DOI 10.1007/s11199-016-0647-5

Evasão das Mulheres dos Cursos de Computação: Um estudo de Caso na Paraíba

Angelina S. da S. Sales^{1,2}, Luana S. Reis^{1,2}, M^a Dayane F. C. Lima^{1,2}, Danielle R. D. Silva^{1,2}

¹ Departamento de Informática – Universidade Federal da Paraíba (UFPB)

² Centro de Informática - CI/UFPB

angelina.sales@cc.ci.ufpb.br, luanasreis@live.com, dayane20msn@hotmail.com, danielle@ci.ufpb.br

Abstract. *Gender inequality in the context of Science and Technology (C & T), in particular in Computing, has become a concern for researchers worldwide. Studies show that even with incentive policies for the insertion of women in computing areas, their participation in courses is still very small. In a case study in the Paraíba, it can be seen that there are only incentive programs for enrollment, and this has not been shown to be sufficient to prevent the circumvention of women in computer courses.*

Resumo. *A desigualdade de gênero no contexto da Ciência e Tecnologia (C&T), em particular na Computação, têm se tornado uma preocupação para pesquisadores do mundo inteiro. Estudos mostram que mesmo com políticas de incentivos para a inserção das mulheres em áreas de computação, sua participação em cursos ainda é muito pequena. Em um estudo de caso na Paraíba, pôde-se perceber que há apenas programas de incentivo ao ingresso, e isto, têm-se mostrado não ser suficiente para impedir a evasão de mulheres nos cursos de computação.*

1. Introdução

No último levantamento do IBGE, a quantidade de mulheres que atuam no setor de Tecnologia da Informação (TI), representam apenas um quarto das 520 mil pessoas na área. Segundo Olinto, as mulheres são levadas a fazer escolhas e seguir caminhos marcadamente diferentes daqueles escolhidos ou seguidos pelos homens. O presente estudo investiga as possíveis causas da evasão dos cursos de computação e tenta identificar as motivações das alunas que permaneceram no curso, uma vez que diversos fatores podem influenciar na permanência ou não nos cursos. A pesquisa foi subdividida em duas etapas, na primeira foi feito um levantamento dos dados das alunas ingressantes e desistentes, a fim de identificar um fator comum que as fizeram desativar a matrícula, na segunda etapa foram realizadas entrevistas online com alunas que estão prestes a concluir os cursos, visando encontrar, também, um fator comum que as fizeram permanecer.

³ Nome da Universidade foi omitido para não fazer ligação com os autores do trabalho

2. Um estudo de Caso na Paraíba

Acompanhando a tendência mundial, também na Paraíba, há uma grande disparidade de gênero entre os estudantes dos cursos de Computação. Para tentar diminuir esse quadro, na Paraíba já existem projetos que visam o incentivo do ingresso das mulheres nas áreas relacionadas a computação.

Neste estudo de caso, estudamos a taxa de evasão apenas dos cursos de Ciência da Computação, Engenharia da Computação e Matemática Computacional, a fim de comparar a disparidade de ingressantes e desistentes quando comparados por gênero.

Num levantamento de dados dos últimos 5 anos, de 2012 até 2016, considerando as duas as chamadas anuais dos 3 cursos estudados. Foi constatado que houveram 1.520 estudantes ingressantes no total e esse montante, apenas 200 deles eram estudantes do gênero feminino, o correspondente à aproximadamente 13,16%.

A média do ingresso de estudantes do gênero feminino no curso de Ciência da Computação (CC) quase se mantém constante, oscilando muito pouco de 2012 até 2015, porém, em 2016, o número de estudantes do gênero feminino que se matricularam no curso cai para quase a metade (Gráfico 1). Analisando o gráfico 2, verifica-se que o número de estudantes do gênero feminino inscritas no curso de Engenharia de Computação (EC) mostrou-se crescente até 2014, o que pode ser justificado pela alteração na forma de ingresso da instituição, no qual passou de vestibular para ENEM. No entanto, nos anos seguintes, o inverso acontece e a média de estudantes do gênero feminino ingressantes passa a cair, quando comparado aos anos anteriores.

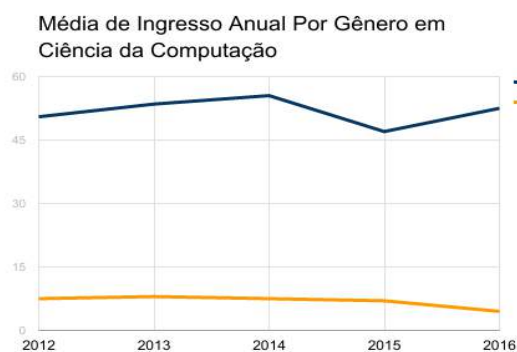


Gráfico 1. Média de Ingresso em CC

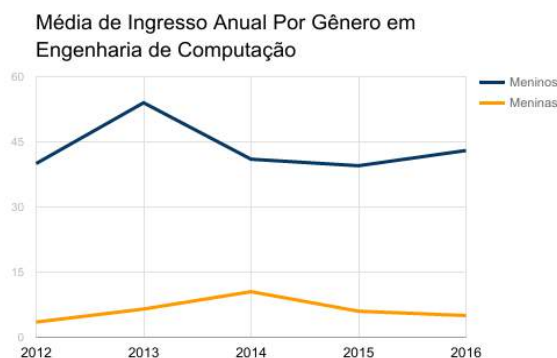


Gráfico 2. Média de Ingresso em EC

O número de estudantes do gênero masculino que se matricularam se intensifica com o passar dos anos em CC, ao contrário das estudantes do gênero feminino, tendo uma queda no número de matrículas em 2015, mas, em 2016 volta a aumentar, como pode-se observar no Gráfico 1.

Em EC, algo semelhante acontece com a média de estudantes do gênero masculino ingressantes, no qual, em 2013 apresentou um pico de crescimento considerável, em seguida, essa média baixa um pouco, retomando o crescimento de matrículas em 2014, oscila um pouco em 2015, mas logo volta a crescer em 2016 (Gráfico 2). Já o curso de Matemática Computacional (MC), tem apresentado os piores índices de ingressantes em ambos sexos, quando comparados aos outros 2 cursos. Todavia, ao contrário dos outros cursos, MC tem

apresentado uma média de estudantes do gênero feminino ingressantes decrescente até 2015 e passa a crescer em 2016. Já o número de estudantes do gênero masculino que se matricularam aumenta até 2015 e em 2016, a média baixa (Gráfico 3).

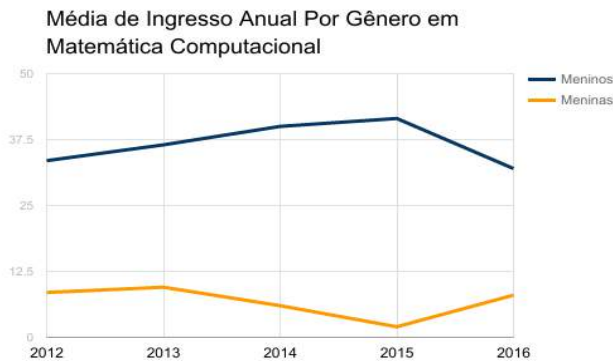


Gráfico 3. Média de Ingresso em MC

Na totalidade dos 1.520 estudantes que se matricularam nos cursos ofertados, apenas 55,13% ainda estão ativas e só 11,1% pertencem às estudantes do gênero feminino.

Embora o número de desistentes seja alto para ambos os sexos, a porcentagem maior da evasão dos cursos ainda é predominantemente feminina. Em uma pesquisa realizada em 2014 (Gráfico 4), pode-se perceber a taxa de retenção dos cursos.

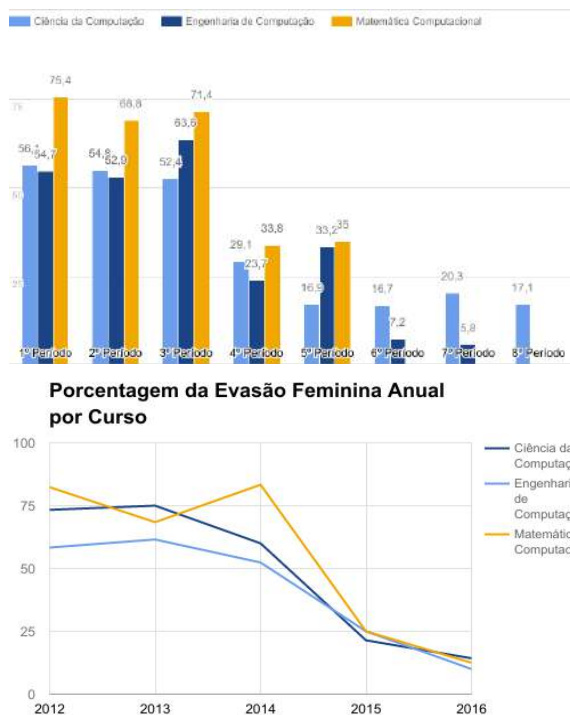


Gráfico 4. Taxa de Retenção dos Cursos do CI.

Gráfico 5. Porcentagem da Evasão Feminina

Essa retenção é calculada em função reprovação por média, reprovação por falta e trancamentos. E acredita-se que essa pesquisa ainda seja válida até hoje, visto que a estrutura dos componentes curriculares dos cursos estudados mudaram pouco ou quase nada até hoje.

As disciplinas que apresentaram os maiores com índices de retenção são as disciplinas

dos primeiros períodos, em especial, as voltadas para o ensino da programação. O que pode explicar a tendência decrescente do Gráfico 5, pois, a evasão é calculada pela razão entre o total de estudantes que abandonaram o curso pelo total de estudantes vinculados ao curso, não havendo indicação da desistência por período, acompanhando a trajetória das alunas. Mas cabe esclarecer que quem ingressou nos cursos a partir de 2013, ainda não houve tempo suficiente para concluir o curso, visto que a duração mínima para CC e MC são 8 períodos, o equivalente a 4 anos e para EC são 10 períodos, o equivalente a 5 anos e que o atual período letivo da universidade estudada ainda é 2016.2. O que nos leva a concluir que o problema de evasão é preocupante, ainda mais considerando a demanda atual e futura por profissionais da área.

3. Considerações Finais

Apesar das medidas de incentivo ao ingresso só terem começado na Paraíba em 2013, de lá pra cá pouco se mudou no que diz respeito ao aumento da quantidade de estudantes do gênero feminino que ingressaram nos cursos. O leve crescimento pode ser justificado pela alteração na forma de ingresso, que passou de vestibular convencional com algumas vagas reservadas para o ENEM para ENEM totalmente, o que pode justificar a volta do seu decréscimo, nos anos posteriores.

Os projetos existentes também não tem apresentado muitos resultados quanto a estimular a permanência das estudantes do gênero feminino que já ingressaram nos cursos de Ciência e Tecnologia, uma vez que a porcentagem de desistência dos cursos ainda é predominantemente feminina. No qual, aproximadamente 44% das estudantes do gênero feminino permanecem nos cursos, enquanto 62% dos estudantes do gênero masculino continuam com a matrícula ativa. A partir desses dados, pode-se perceber que embora existam muitos projetos de apoio e incentivo a inserção, esses, não têm se mostrado suficientes para equilibrar o quadro da disparidade de gênero no que diz respeito aos ingressantes dos cursos de computação. De forma geral, concluímos que deveriam existir incentivos à permanência, uma vez que não adianta inserir muitas estudantes do gênero feminino nos cursos, sem que se possa garantir a permanência das mesmas.

Referências

Censo Demográfico 2010. Trabalho e Rendimento. IBGE, 2012. Disponível em: <http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/1075/cd_2010_trabalho_rendimento_amostra.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2017.

OLINTO, Gilda. A inclusão das mulheres nas carreiras de ciência e tecnologia no Brasil. Inc. Soc. Brasília, DF. 2011. pp 68-77. Disponível em: <http://revista.ibict.br/inclusao/article/view/1667> Acesso em 20 de março de 2017.

Explorando o Pensamento Computacional para Despertar Novos Talentos: Relato de uma Experiência

Cristina Paludo Santos, Denilson Rodrigues da Silva, Giana Ferreira, Maria Gisele Flores da Silveira

Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões (URI)
98.802-470 – Santo Ângelo – RS – Brasil
paludo@san.uri.br, deniro@san.uri.br, giana.ferreira.s@gmail.com,
guiga.flores.silveira@hotmail.com

Abstract. *This article describes an experiment conducted with high school girls from public and private schools in a city of Rio Grande do Sul, in order to stimulate computational thinking and to bring them closer to the computing area. The strategy used includes designing applications for smartphones using the MIT App Inventor educational platform. A description of the methodology applied and the results obtained is presented so that the experiment can be improved and replicated.*

Resumo. *Este artigo descreve uma experiência realizada com alunas do ensino médio de escolas públicas e privadas em um município do Rio Grande do Sul, com o intuito de estimular o pensamento computacional e aproximá-las da área de computação. A estratégia utilizada compreende a criação de aplicativos para smartphones utilizando a plataforma educacional MIT App Inventor. Uma descrição da metodologia aplicada e dos resultados alcançados é apresentada de modo que a experiência possa ser aprimorada e replicada.*

1. Introdução

Introduzir tecnologia e o pensamento computacional na sala de aula está se tornando cada vez mais importante visto a forte influência da tecnologia no cotidiano de crianças e jovens. Segundo Wing (2006) a constituição do pensamento computacional apresenta-se como uma das mais importantes contribuições da ciência da computação para o mundo, pois forma cidadãos com competências e habilidades necessárias para conviver e prosperar em um mundo cada vez mais tecnológico e global.

Em paralelo a tais reflexões, originam-se também debates e estratégias em prol da democratização do saber e do acesso das meninas/mulheres nas áreas científica e tecnológica visando quebrar estigmas e atingir o equilíbrio entre os gêneros no universo da Computação. Neste sentido, tanto o ensino de Computação nas escolas, quanto o fomento por uma maior inclusão das mulheres no segmento de Tecnologia da Informação (TI) têm sido uma preocupação crescente e gerando diversas ações que direcionam esforços no sentido de atender as demandas estabelecidas nestes cenários [Barcelos, 2012][Santos, 2016][Gomes *et al.*, 2014][Wolber,2014][Maciel, 2016].

O projeto Meninas Digitais Tchê Missões insere-se neste elenco de trabalhos. Acredita-se que ampliar a imagem mental dos jovens sobre o que significa ser um(a) cientista da computação pode ajudar a esclarecer detalhes sobre a área atraindo mais meninas e inspirando novos talentos.

Para tanto faz-se uso de estratégias que permeiam diferentes abordagens incluindo ações voltadas ao público feminino no espaço da educação básica, onde as primeiras expectativas de futuro e planejamento de carreiras são construídas e, também no espaço do ensino superior promovendo a permanência daquelas meninas que já optaram por estas carreiras. Neste cenário, o principal objetivo é que tais ações sirvam como ponto de apoio à consolidação da imagem de que os espaços de Ciência e Tecnologia são também lugares onde as mulheres podem e devem ocupar.

Uma visão geral das ações no âmbito do projeto é apresentada nas próximas seções, destacando a metodologia empregada na execução do projeto (Seção 2), os resultados obtidos (Seção 3) e as considerações finais (Seção 4).

2. Metodologia

O presente projeto apresenta-se como um convite para refletir, se inspirar e aprender. Para tanto a metodologia adotada pelo projeto inclui atividades que visam evidenciar o potencial criativo, a competência, a inteligência e as habilidades que as meninas possuem para produzir tecnologias e não apenas para utiliza-las. As atividades incluem a promoção de discussões a respeito dos benefícios providos pela tecnologia para a sociedade, reflexões sobre a importância do papel da mulher nesse universo, geração de conhecimentos teóricos, práticos e operacionais. A Figura 1 descreve, em termos gerais, as principais atividades propostas.

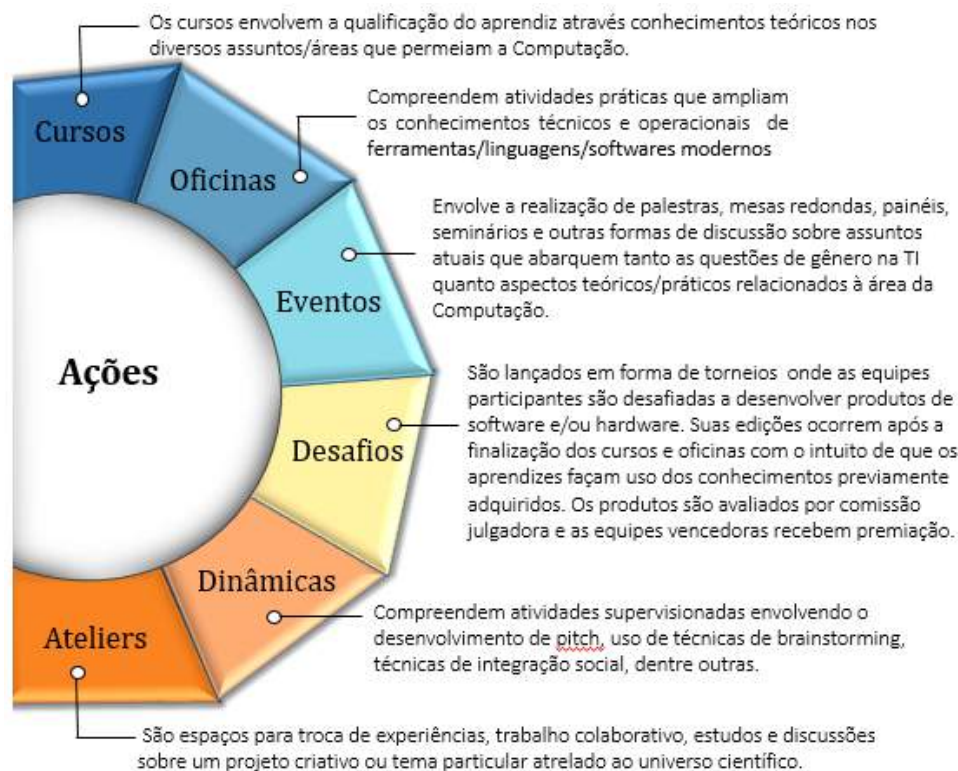


Figura 1. Ações desenvolvidas no projeto

O projeto foi executado na instituição proponente e contou com a participação de 54 meninas, do ensino médio, provenientes de escolas públicas e privadas do município de Santo Ângelo/RS. As meninas compunham 13 equipes, sendo que cada equipe contava com um

professor da escola como responsável. Adicionalmente, atuaram no projeto 2 docentes da computação e 2 alunas do ensino superior.

A primeira atividade consistiu na promoção de um evento cuja programação contou com diversas atividades dentre as quais citam-se: (a) panorama sobre a participação das mulheres na área científica e tecnológica; (b) divulgação de outros projetos que visam estimular meninas para a área tecnológica; (c) breve descrição das habilidades adquiridas por acadêmicos dos cursos de Ciência da Computação e Sistemas de Informação; (d) atividades de integração; (e) utilização de Canvas para elucidação de ideias; dentre outras. Como parte das atividades também foram promovidas oficinas de *Pitch* e *Brainstorming*.

Após a realização do evento, iniciaram-se as atividades referentes ao curso e atelier de programação. O curso consistiu em duas etapas: inicialmente as alunas, que nunca haviam programado, tiveram aulas de programação em *Android*, através da plataforma APP Inventor – uma ferramenta idealizada pelo Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT), dos Estados Unidos em parceria com o Google, que contempla uma metodologia natural, fácil para aprender e que simplifica a parte de código mantendo a parte lógica. Em seguida, formaram equipes e passaram a contar diretamente com mentoras da área de tecnologia, que também serviram de papel-modelo para as jovens aprendizes. O curso teve duração de 8 semanas com carga horária total de 16horas/aula. Em paralelo ao curso também promoveu-se o atelier de programação que compreende um espaço descontraído para explorar ideias, trocar experiências e conhecimentos relacionados aos aspectos de programação. O atelier foi promovido semanalmente e de forma presencial.

Findadas as atividades inerentes ao curso de programação, as meninas participantes foram convidadas a participar de um desafio que buscou fomentar o interesse das jovens pela aplicação dos conhecimentos obtidos com vistas à criação de algo que fosse socialmente útil e pessoalmente gratificante. Para tanto foram três meses intensos de trabalho em que as equipes construíram um plano de negócios, desenvolveram um aplicativo para um problema social e um *pitch* para apresentar a ideia. A proposta do desafio foi “conceber um aplicativo voltado para a melhoria da qualidade de vida das pessoas”. Participaram do desafio 5 equipes, totalizando 25 meninas. Os aplicativos desenvolvidos contemplaram os seguintes domínios de aplicação: (a) Orientações sobre a prática de exercícios físicos em academias ao ar livre; (b) Agenda diária para auxiliar os cuidadores de idosos; (c) Melhores ofertas nos supermercados da cidade; (d) Etiquetas sustentáveis para auxiliar a coleta seletiva de lixo e incentivar o uso de transporte coletivo e, (e) Biblioteca Virtual para agilizar o empréstimo de livros nas escolas. A Figura 2 apresenta a interface principal dos aplicativos desenvolvidos.



Figura 2. Aplicativos desenvolvidos pelas equipes participantes.

O Desafio de Programação culminou em uma cerimônia de premiação e encerramento, onde os 3 melhores aplicativos foram premiados com troféus e medalhas (Figura 3). Um júri técnico avaliou o *pitch* e os aplicativos desenvolvidos.



Figura 3. Troféus e Medalhas do I Desafio Meninas Digitais Tchê Missões

3. Resultados Obtidos

Os resultados desta experiência permitiram uma aproximação maior com a realidade das meninas no que se refere ao contato com a tecnologia. Todas as meninas participantes do projeto foram indagadas se já haviam tido contato ou sido incentivadas a programar antes de ingressar no Meninas Digitais. Dentre as declarações destacam-se: "*Nunca. Eu nunca tive uma oportunidade dessas, mas estou amando tudo que estou aprendendo.*" (**B.B, 16 anos**); "*Apenas coisas básicas de blogs. Nunca havia me aprofundado nesse assunto.*" (**J.W, 17 anos**); "*Não. Está sendo uma experiência incrível.*" (**R.X, 17 anos**); "*Não. Me chamou atenção justamente por isso.*" (**R. G. A, 18 anos**). A partir destas declarações percebe-se que há interesse das meninas pela área tecnológica, o que falta são iniciativas que oportunizem o contato das mesmas com este universo.

Destaca-se ainda que apenas 5 equipes participaram do Desafio. Esta questão foi averiguada e as meninas das demais equipes mencionaram que por estarem envolvidas com vestibular e provas do Enem, não puderam participar. Segundo elas se as atividades tivessem sido promovidas no 1º semestre do ano teriam maior disponibilidade de tempo. Estes dados permitiram a realização de ajustes no cronograma das ações a serem promovidas pelo projeto na sua segunda edição.

Evidencia-se ainda como resultado desta experiência o interesse das escolas em participar das novas edições do projeto. Inclusive outras escolas da cidade e região entraram em contato e demonstraram interesse das alunas em participar. Isso demonstra a boa repercussão do projeto nos espaços escolares.

Por fim, considera-se o projeto Meninas Digitais Tchê Missões uma iniciativa em processo de desenvolvimento e inovação que, contudo, já conta com resultados de sucesso, considerando os resultados obtidos na 1ª Edição, e um novo olhar da comunidade envolvida em relação ao tema Mulheres em TI.

4. Considerações Finais e Trabalhos Futuros

Como forma de contribuir para mudar a realidade e a predominância masculina no mundo da ciência e tecnologia, são propostas ações por meio deste projeto com vistas a apresentar, engajar e aumentar o envolvimento das mulheres com a tecnologia. Acredita-se que esta iniciativa possa quebrar estigmas e contribuir para dirimir a reverberação do estereótipo de que Computação é “coisa de menino”. Além do aspecto inclusivo, o projeto contribui na resolução de problemas sociais a partir das habilidades adquiridas.

Entende-se que criar culturas inclusivas pode ser uma abordagem bem-sucedida. Desvendar o feminino na construção do conhecimento vai ao encontro às preocupações de uma área ainda em construção no Brasil, mas fértil em abordagens e análises sobre a participação de mulheres na ciência e tecnologia.

Referências Bibliográficas

- Wing, J. M. (2006) “Computational Thinking”, In: Communications of the ACM, pages 33-35, March 2006/Vol. 49, No. 3, USA HANEY.
- Barcelos, T. and Silveira, I. F. “Pensamento Computacional e Educação Matemática: Relações para o Ensino de Computação na Educação Básica”. In: XX Workshop sobre Educação em Computação, 2012, Curitiba. Anais do XXXII CSBC, 2012.
- Maciel, C. and Bim, S. A. (2016) Programa Meninas Digitais - Ações para divulgar a Computação para meninas do ensino médio, In: Computer on the Beach 2016, Florianópolis, SC. pp.327-336, 2016.
- Santos, Elisângela Ribas *et al.* Estímulo ao Pensamento Computacional a partir da Computação Desplugada: uma proposta para Educação Infantil/Stimulus to computational thinking: a proposal for elementary school. Revista Latino-americana de Tecnología Educativa-RELATEC, v. 15, n. 3, p. 99-112, 2016.
- Gomes, Wesckley Faria, *et al.* "Incentivando meninas do ensino médio à área de Ciência da Computação usando o Scratch como ferramenta." *Anais do Workshop de Informática na Escola*. Vol. 20. No. 1. 2014.
- Wolber, D., Abelson, H. and Friedman, M. Democratizing Computing with App Inventor. Newsletter GetMobile: Mobile Computing and Communications - ACM, v. 18, n. October, p. 53–58, 2014.

Incentivos à igualdade de gênero: estudo de caso de uma comunidade formada somente por mulheres da área de tecnologia

Carolina C. Vieira¹, Ana Carolina R. Soares¹, Serena F. Ribeiro²

Departamento de Ciência da Computação – Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)
Belo Horizonte, MG – Brasil

Méliuz
Belo Horizonte, MG – Brasil

{carolcoimbra, annessoares}@dcc.ufmg.br, serena@meliuz.com.br

Abstract. *This article presents an initiative whose objective is to reduce the existing gender inequality in the area of Information Technology. The initiative involves the creation of a community as an attempt to minimize prejudice and strengthen women who are part of this sector. The group is formed only by women from the technology field who, through meetings, lectures and courses, seek to empower and encourage the participation of women in the field.*

Resumo. *O artigo apresenta uma iniciativa cujo objetivo é reduzir a desigualdade de gênero existente na área de Tecnologia da Informação. A iniciativa envolve a criação de uma comunidade como tentativa de minimizar o preconceito e fortalecer as mulheres que fazem parte desse setor. O grupo é formado somente por mulheres da área de tecnologia que, através de encontros, palestras e cursos buscam capacitar e incentivar a participação de mulheres na área.*

1. Introdução e Trabalhos Relacionados

Ao longo dos anos, apesar das inúmeras conquistas femininas nos âmbitos pessoal, social, cultural e profissional, a desigualdade de gênero ainda se mostra presente nessas áreas. Atualmente, essa temática é muito pesquisada [de Freitas and da Luz] sob várias perspectivas e grandes esforços são feitos para promover a igualdade entre os gêneros [Teixeira , Moreira et al. 2016]. A Organização das Nações Unidas (ONU), por exemplo, estabeleceu dezessete Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e, dentre eles, encontra-se a igualdade de gênero. Entretanto, ao observar o cenário do mercado de trabalho, esse objetivo aparenta ser bem distante, uma vez que o homem ainda é considerado um padrão com o qual as mulheres devem ser comparadas e, em geral, ocupam cargos mais valorizados e recebem melhores salários [Mattos 2016].

No âmbito educacional e profissional é possível perceber um desequilíbrio na participação da mulher, sobretudo, nas áreas de ciências exatas e tecnológicas, caracterizada por uma tendência à existência de carreiras masculinas [Lima 2013, Borges et al. 2010]. No setor da Tecnologia da Informação (TI), a participação da mulher ainda está muito aquém do desejado. O estereótipo construído em torno dos estudantes, bem como os profissionais da área de tecnologia confirmam o cenário composto majoritariamente por homens [Lima 2014]. Entretanto, mesmo sendo minoria, muitas

mulheres se destacaram na área [Schwartz et al. 2006] e ainda se destacam, como por exemplo, no que diz respeito às produções científicas mais significativas e de maior qualidade [Rosa and Quirino 2017].

Como forma de incentivar a diversidade de gênero dentro das organizações, muitas empresas de tecnologia investem em comunidades para o empoderamento de mulheres na área. As comunidades mostram-se boas iniciativas para promover trabalho, troca e produção de conhecimento [Moretti 2013]. Além disso, a comunicação desenvolvida nesse espaço permite a criação de um vínculo social entre os membros do grupo [Sartori and Roesler 2004].

Além das comunidades incentivadas por organizações, existem outras que partem de iniciativas próprias, sobretudo de mulheres. Em geral, essas comunidades surgem como um projeto para divulgar a área da tecnologia para outras meninas e mulheres [Moreira et al. 2016, Maciel et al. 2013] ou para manter relações entre mulheres que já são da área, como é o caso da comunidade apresentada neste estudo. Dessa forma, é objetivo do trabalho apresentar esse grupo, suas iniciativas e verificar se o fato da comunidade ser composta somente por mulheres faz com que as mesmas se sintam mais confortáveis, conforme apontam estudos recentes [Hirsch et al. 2017].

2. A comunidade

A comunidade "Minas da TI" foi criada no final do ano de 2015, após idealização das fundadoras, que são desenvolvedoras e, com frequência, sentiam sua capacidade questionada. Além disso, relatos de conhecidas, amigas e outras mulheres da área foram levados em conta para concluir a criação da comunidade voltada ao público de mulheres na área de tecnologia.

Diferentemente da maioria das comunidades já existentes voltadas a esse tema, essa optou por ser restrita à participação de mulheres. Isso porque observou-se que várias outras comunidades voltadas para o empoderamento feminino na região contavam com palestras ministradas, em sua maioria, por homens. E, além disso, nos encontros promovidos, a maioria dos participantes eram do sexo masculino. Dessa forma, o perfil atingido pela comunidade são jovens mulheres em sua maioria com idade entre 18 e 34 anos. Entretanto, na página da comunidade no *Facebook*, existe uma pequena parcela masculina, 24% do total de seguidores, que segue as publicações do grupo apesar dos eventos divulgados nessa página serem restritos ao público feminino.

Os encontros promovidos pelo grupo acontecem duas vezes por mês, contam com a presença de 20 a 25 mulheres e variam muito de formato. Em geral, ocorrem debates, palestras, dojos e workshops. Cada evento possui sua particularidade mas busca sempre levar o aprendizado de uma nova tecnologia. É muito importante que os encontros ocorram com certa periodicidade para que se crie uma rede de contatos e conexões mais fortes entre as participantes. Além disso, com o objetivo de divulgar e ganhar a adesão de mais mulheres, a comunidade incentiva as participantes veteranas a levarem outras mulheres para os encontros. Dessa forma, elas se sentem parte da comunidade e auxiliam no enriquecimento e crescimento da mesma.

Além do apoio recebido pelas próprias participantes dos eventos, o grupo conta com o apoio de várias empresas da região que contribuem cedendo espaços, patrocinando

eventos ou até mesmo divulgando a comunidade. A comunidade também é reconhecida dentro das universidades, onde, frequentemente, as fundadoras palestram com o objetivo de incentivar as mulheres da área. Eventos assim aumentam a visibilidade da comunidade, assim como ocorreu quando o grupo foi divulgado em uma entrevista para um jornal local, o que fez com que o número de seguidores na página do *Facebook* dobrasse. Atualmente, a página no *Facebook* conta com 346 curtidas sendo que dessas, 273 são de mulheres e o grupo no *Meetup* possui 299 mulheres inscritas.

3. Estudo Quantitativo

Baseado no fato de que existem muitas comunidades mistas voltadas às mulheres na área de tecnologia, a principal questão que se deseja compreender é se o fato do grupo ser composto somente por mulheres faz com que, de fato, as membros se sintam mais confortáveis. Para isso, um questionário foi elaborado com duas perguntas principais, sendo elas: "Como você se sente estando em um grupo somente de mulheres?" e, caso a membro também participe de grupos mistos, "Como você se sente estando em um grupo misto?". Para ambas as perguntas, foi criada uma escala de 1 a 5, onde 1 representa desconfortável e 5 indica confortável. Além disso, para compor o perfil das mulheres que responderam ao questionário, foram feitas perguntas relacionadas à idade e escolaridade das mesmas.

O questionário foi enviado para o e-mail de todas as mulheres que fazem parte do grupo no *Meetup* com o objetivo de limitar o sexo das respondentes do questionário, ou seja, somente mulheres responderem o mesmo. O questionário ficou disponível por 5 dias e, ao todo, obtivemos 82 respostas. Com base na análise dessas respostas, foi possível confirmar o perfil das mulheres que compõem a comunidade no *Facebook*. As mulheres que responderam ao questionário são, em geral, jovens com idade entre 18 a 34 anos e com ensino superior em andamento ou concluído, assim como o perfil de mulheres que curtem a página da comunidade.

Os resultados para as duas perguntas principais mostram que a grande maioria, 72%, se sente confortável em um nível máximo na escala em grupos formados somente por mulheres. Enquanto que dos 72% das mulheres que participam de grupos mistos, 45,8% se sentem confortáveis nesse mesmo nível. Além disso, a porcentagem restante para os níveis de conforto em grupos formados somente por mulheres se distribui pelos níveis 3 e 4 que somam 26,9% e nível 2 com 1,2%. Já para os níveis de conforto em grupos mistos, os níveis 1 e 2 recebem 1,7% cada, e os níveis 3 e 4 somam 58,8%. Conforme mostram, respectivamente, as Figuras 1(a) e 1(b).

Além disso, é possível perceber que o grau de conforto atribuído às comunidades mistas é, em geral, inferior ao atribuído às comunidades em que a participação é restrita às mulheres. Dessa forma, pode-se inferir que, as mulheres, de fato, percebem diferenças ao participar desses dois tipos de comunidade. Isso fica evidente ao avaliar as distribuições entre os níveis de conforto para as comunidades.

4. Conclusão e Trabalhos Futuros

Apesar de ambos os grupos, formados somente por mulheres e mistos, terem sido avaliados pela maioria das membros da comunidade como sendo confortáveis, através da análise dos resultados, fica claro que a porcentagem do nível máximo de conforto atribuído com o valor 5 é superior nas comunidades cujos participantes são somente do sexo feminino.

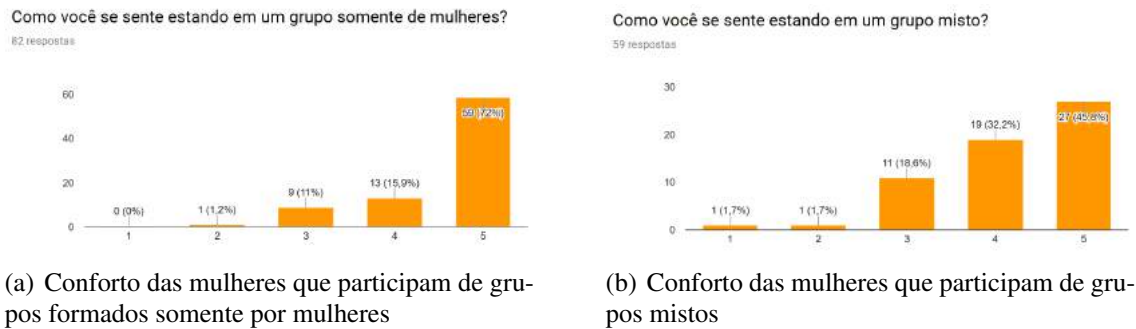


Figura 1. Resultados quantitativos da pesquisa com as mulheres da comunidade. Na escala, 1 significa desconfortável e 5 significa confortável.

Sendo assim, acredita-se que a comunidade "Minas da TI" propicia um ambiente favorável para essas mulheres, uma vez que a maioria delas encontram-se também inseridas em grupos mistos. Dessa forma, a comunidade não pretende se abrir para a entrada de membros do sexo masculino.

Mesmo acreditando que diversidade de gênero é fundamental para se alcançar a igualdade de gênero, o grupo busca, em um primeiro momento, fortalecer a participação das mulheres no mercado de TI e amparar justamente o grupo que se sente mais confortável em participar de comunidades formadas somente por mulheres.

Referências

- Borges, K. F. C., IDE, M. d. S., and Durães, S. J. A. (2010). Mulheres na educação superior no Brasil: estudo de caso do curso de sistema de informação da universidade estadual de Montes Claros (2003/2008). In *Congresso Ibero-Americano de ciência, tecnologia e gênero*, volume 8.
- de Freitas, L. B. and da Luz, N. S. Os estudos de gênero, ciência e tecnologia no Brasil: Uma análise a partir de periódicos de gênero.
- Hirsch, L. S., Berliner-Heyman, S., Cano, R., and Cusack, J. L. (2017). The effectiveness of single-gender engineering enrichment programs: A follow-up study.
- Lima, F. A. d. (2014). Mulheres na tecnociência: depoimentos e vivências de mulheres nos cursos de computação da universidade tecnológica federal do Paraná. Master's thesis, Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- Lima, M. P. (2013). As mulheres na ciência da computação. *Estudos Feministas*, pages 793–816.
- Maciel, C., Bim, S. A., and Boscaroli, C. (2013). Hci with chocolate: Introducing hci concepts to Brazilian girls in elementary school. In *CLHC*, pages 90–94. Springer.
- Mattos, A. I. S. (2016). Desigualdades de gênero: Uma revisão narrativa. *Saúde.com*, 11(3).
- Moreira, J., Mattos, G., Barreto, L., Cavaco, I., and Moreira, R. (2016). Atraindo meninas para a ciência da computação: Métodos e ferramentas. In *Anais dos Workshops do Congresso Brasileiro de Informática na Educação*, volume 5, page 1255.

- Moretti, G. (2013). Tecnologia e comunidades organizacionais: uma cultura digital? *Comunicação Pública*, 8(n13):99–122.
- Rosa, M. A. G. and Quirino, R. G. (2017). Relações de gênero na ciência e tecnologia (c&t): estudo de caso de um centro federal de educação tecnológica. *Diversidade e Educação*, 4(8):42–55.
- Sartori, A. S. and Roesler, J. (2004). Comunidades virtuais de aprendizagem: espaços de desenvolvimento de socialidades, comunicação e cultura. *Acesso*, 20:10–14.
- Schwartz, J., Casagrande, L. S., Leszczynski, S. A. C., and Carvalho, M. G. d. (2006). Mulheres na informática: quais foram as pioneiras. *cadernos pagu*, 27(1):255–278.
- Teixeira, D. V. Desigualdade de gênero: sobre garantias e responsabilidades sociais de homens e mulheres. *Revista Direito GV*, 6(1):253–274.

Relato Tech Ladies: redes de colaboração entre mulheres na tecnologia.

Ana C. M. Souza¹, Izadora Perkoski², Khalyandra Veiga³, Vanessa Romankiv³

¹Programa de Pós-Graduação em Informática (PPGIa) – Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR)
Rua Imaculada Conceição 1155 – 80.215-901 – Curitiba – PR – Brasil

²Programa de Pós-Graduação em Educação Especial (PPGEES) - Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)
Rod. Washington Luís km 235 - 13565-905 - São Carlos - SP - Brasil

³Programa de Pós-Graduação em Design Centrado no Usuário - Universidade Positivo (UP)
Rua Professor. Pedro Viriato Parigot de Souza - 80740-050 - Curitiba - PR - Brasil

⁴Tech Ladies

Curitiba – PR - Brasil

ana.moises@ppgia.pucpr.br, {izaperkoski, khalyandra, anessaromankiv}@gmail.com

Abstract. *The discussion about gender stereotyping has been a concern for the future of women in the fields of science, technology, engineering and math (STEM). In order to change this scenario, many initiatives for women in technology are emerging. In this direction, this paper presents the objectives, structure and work carried out during the first year of Tech Ladies network, as an initiative that connects, teaches and empowers women in the area of technology.*

Resumo. *A discussão sobre estereótipos de gênero é uma preocupação para o futuro da mulher nas áreas da ciência, tecnologia, engenharia e matemática (STEM). Visando mudar esse cenário, muitas iniciativas para as mulheres na tecnologia estão surgindo. Nessa direção, este artigo apresenta os objetivos, a estrutura e o trabalho realizado durante o primeiro ano da rede Tech Ladies, como uma iniciativa que conecta, ensina e empodera mulheres na área da tecnologia.*

1. Introdução

Recentemente o Fórum Econômico Mundial publicou o Relatório de Desigualdade Global de Gênero 2016, onde cita que o Brasil está 79ª posição no que diz respeito a paridade econômica de gêneros nas áreas de acesso à Educação, Saúde e Sobrevivência, Oportunidade Econômica e Empoderamento Político [World Economic Forum 2016]. O relatório conclui que o progresso para equidade de gênero ocorre de forma lenta no contexto mundial. Com o progresso tecnológico a maioria dos postos de trabalhos com predominância feminina tende a se reduzir demandando assim urgência na adesão de mulheres nas áreas de ciência, tecnologia, engenharia e matemática (STEM).

Neste cenário, buscam-se meios de incentivar mulheres a ingressarem e permanecerem na tecnologia e alguns movimentos que vêm acontecendo ao longo dos

anos. No Brasil, ainda de acordo com o estudo de [Nunes et al. 2016], surgiram 16 iniciativas desde 2005, criadas por universidades, entre elas destacam-se os projetos Meninas Digitais [Maciel e Bim 2016] e Emili@s [Bim 2016]. Essas iniciativas promovem palestras, oficinas, congressos e até mesmo blogs. Além da contribuição das universidades com projetos de extensão com este foco, as iniciativas privadas (organizações não governamentais, *startups*, comunidades e pessoas físicas) estão se organizando e se unindo. Um exemplo disso é o Mapa das Minas¹ criado para listar todas essas iniciativas no Brasil.

Com intuito de continuar incentivando meninas a entrarem na área de TI, compartilhar conhecimentos adquiridos na profissão, colaborar com as diversas iniciativas existentes, promover oficinas, palestras, eventos, integrar universidades, espaços de *coworkings* e empresas, nasceu a rede apresentada neste artigo.

Este artigo está organizado da seguinte maneira: a Seção 2 apresenta a rede; na seção 3 são descritos os resultados atingidos pela rede até o momento; e a seção 4 conclui o artigo.

2. Apresentação e Motivação

A rede Tech Ladies foi criada a partir da percepção e vivência da fundadora a respeito da baixa participação e alto índice de desistência das mulheres na área de tecnologia, tanto no mercado de trabalho quanto em cursos acadêmicos. Essa percepção é confirmada por uma pesquisa relacionada à baixa participação de mulheres na área de TI que teve como foco entrevistas com alunas dos cursos de Sistemas de Informação e Engenharia da Computação [De Lima 2014]. Outra pesquisa em andamento, busca explicar o motivo da exclusão feminina [Castelini 2016] confrontando a masculinização da área e o imaginário estabelecido socialmente de que a mulher não é capaz, não pode ser aluna ou profissional da área da computação

Preocupada com todo esse contexto, a rede se apresenta como um espaço para troca de conhecimento, ascensão profissional, desenvolvimento pessoal e valorização da mulher nas áreas de exatas.

2.1 Objetivos

É uma rede de empoderamento feminino na tecnologia visando incentivar, inspirar, conectar e imergir as meninas e mulheres no universo da tecnologia. Pretende-se, por meio da inovação tecnológica e empreendedorismo, aumentar a participação das mulheres no mercado tecnológico promovendo a equidade de gênero.

Atua na realização, colaboração e participação de iniciativas, projetos, oficinas, palestras e eventos. A rede apoia e conecta as diversas iniciativas distribuídas no território nacional com o objetivo de unir as mulheres da área de forma colaborativa. Articula projetos de aplicativos mobile, sistemas web, robôs e sensores com o objetivo de aprimorar os conhecimentos em novas tecnologias e permitir que as participantes coloquem em prática os conhecimentos adquiridos nas oficinas. As palestras

¹ https://www.google.com/maps/d/viewer?mid=1PFfESBALPxGFuMPJNcTq-ZRT9lk&hl=en_US&ll=7.454682350012113%2C-35.112382976562515&z=8

promovidas abordam assuntos que agregam conhecimento tanto no aspecto técnico quanto humano. A participação e promoção de eventos permite divulgar e conectar a rede nos ecossistemas de inovação com objetivo de conhecer parceiros e oportunidades.

Para que a rede atinja os objetivos listados acima foram definidas as seguintes metas: a) aumentar em 20% as mulheres atuantes na rede por meio de 15 oficinas a serem realizadas durante o ano de 2017 todas elas propostas pelas integrantes da rede e parceiros; b) a cada oficina realizada e divulgada nos canais de comunicação da rede, nota-se que pelo menos uma nova mulher ou menina começa a participar da rede. Já temos parceria de local para esses eventos; c) além das oficinas está sendo planejado para o final do ano um evento de dois dias que contará com oficinas e palestras para engajamento de mais meninas e mulheres; d) para aumentar a participação de meninas e mulheres na área da tecnologia, nota-se que algumas integrantes da Tech Ladies, já estão conseguindo trabalhos como *freelances*. Isto se deve a conexão e networking que a rede está estabelecendo.

2.2 Estrutura

A estrutura da Tech Ladies é composta por embaixadoras, equipe técnica e integrantes. As embaixadoras são mulheres professoras e empresárias que desde o início da rede apoiam os trabalhos e são exemplos de superação e dedicação. A equipe técnica é formada por mulheres profissionais de diversas áreas, como marketing, psicologia, administração e computação, que organizam eventos, palestras e oficinas. As integrantes são mulheres e meninas que querem aprender mais sobre a área e que participam de eventos promovidos pela rede.

Dentro dessa estrutura é possível perceber diferentes perfis de acordo com objetivo e história de vida de cada integrante. Neste contexto, participam da rede:

- Mulheres atuantes na tecnologia, que trabalham com tecnologia da informação, web design, testes, engenharias, programação, gerentes de projetos, analista de negócio, ensino e diversas outras áreas.
- Mulheres e meninas que buscam uma área para iniciar sua vida profissional na tecnologia, normalmente são alunas do ensino médio que estão pretendendo ingressar numa das áreas de STEM e procura por orientação profissional e o que a mulher precisa enfrentar dentro da área.
- Mulheres que já desistiram de atuar na tecnologia e com o apoio da rede estão retornando e acreditando que elas podem trabalhar na área e serão reconhecidas.

Percebe-se que as integrantes da rede se sentem à vontade para compartilhar e aprender, estão entusiasmadas com a rede e procuram sempre participar dos eventos.

3. Resultados do Projeto

No decorrer do ano de 2016 e início de 2017 a rede participou de diversos eventos para divulgação das suas atividades: palestras, mentorias em *hackathons*², eventos e oficinas. O primeiro dos eventos promovidos pela rede foi o lançamento da iniciativa ArduLadies, focada no ensino de eletrônica com Arduino³ para mulheres, incentivando a capacidade de realizar projetos por si mesmas - movimento *maker*⁴. Além disso, foram quatro palestras sobre introdução ao Arduino e apresentação da rede nos eventos: Paraná DevDay - SEBRAE, TechDay - EBANX, Charneira - PUCPR, Jornada de Atualização em Informática - UniCuritiba.

Depois disso, para divulgar a rede, foram reunidas mulheres inspiradoras em um evento onde 10 palestras foram ministradas sobre os seguintes temas: programação, design, negócios, jornalismo, inclusão das mulheres na tecnologia. Esse evento obteve 100 inscritas e 80 participantes e contou com o apoio da Universidade Positivo, TopTal, Agência Liderança Feminina, Just - Assistente Virtual, Rede Mulher Empreendedora (RME). As integrantes da rede estiveram presentes em quatro *hackathons*, sendo que em três deles com mentorias de desenvolvimento, design e negócios (Hackathon Paraná, Hackathon OAB, Hackathon Copel SENDI) e uma equipe que desenvolveu uma solução para durante o Hackathon SESI.

Uma outra iniciativa foi a Oficina Django Girls, que orientou o desenvolvimento de um blog no framework Django com Python. Foi realizada em parceria com a Aldeia Coworking, e contou com 7 tutoras da rede e tutores de outras comunidades. O evento contemplou 30 participantes, das quais 80% das mulheres não eram da área de TI, e gerou uma lista de espera de mais 90 pessoas. Também foi organizado o Dojô de Arduino com programação intuitiva por meio do Scratch for Arduino (S4A), evento realizado em conjunto com a Eletron e em parceria com O Penal *coworking*, contou com a participação de 10 meninas.

Por fim, a rede organizou também a oficina de empoderamento feminino, realizado em parceria com o Centro Europeu e Unistart, com o objetivo de inspirar as integrantes e mostrar que todas as mulheres possuem força, garra, inteligência e controle emocional por meio de técnicas de Coaching [Navarro 2015]. O evento teve um total de 13 participantes das 18 inscritas.

4. Considerações Finais

Este artigo apresentou detalhes sobre a rede, com a motivação para a sua criação, seus objetivos e os trabalhos realizados. Todo esse movimento está sendo realizado por diferentes perfis de mulheres: atuantes na tecnologia, as que buscam uma área para iniciar sua vida profissional e as que já desistiram de atuar na tecnologia e com o apoio

² <https://en.wikipedia.org/wiki/Hackathon>

³ <https://www.arduino.cc/>

⁴ https://en.wikipedia.org/wiki/Maker_culture

da rede estão retornando e acreditando que elas podem trabalhar na área e serão reconhecidas. Embora ainda sem dados sistemáticos, é possível observar preliminarmente alguns impactos da criação da rede no ecossistema local, promovendo diversidade e inclusão no mercado de tecnologia. A recepção das participantes parece ser bastante positiva, com uma procura crescente pelos eventos e oficinas promovidos pela rede e engajamento voluntário de cada vez mais mulheres. O envolvimento de profissionais, estudantes e interessadas pela área de tecnologia em iniciativas como essa rede permite que as mulheres criem relações seguras, de confiança e cooperação, em um ambiente motivador e positivo.

No futuro, espera-se que a rede seja capaz de fortalecer e ampliar a participação feminina no mercado de tecnologia de forma cada vez mais efetiva e ampla.

Referencias

- Bim, S. A.; Amaral, M. A.; Kozievitch, N. P.; Emer, M. C. F. P.; Setti, M. O. G.; Pellison, L. A.; Merkle, L. E.. Divulgar para Atrair, Motivar para Manter. In: 10º WIT - Women in Information Technology, 2016, Porto Alegre. Anais do XXXVI congresso da sociedade brasileira de computação: #Computaçãoeinterdisciplinaridade. Porto Alegre: EDIPUCRS Editora Universitária da PUCRS, 2016. p. 2665 – 2669
- Castelini, P.; Amaral, M. A.; Barbosa E., Silva, R. Women and the imaginary in Computer courses at UTFPR. In: XI JORNADAS LATINOAMERICANAS DE ESTUDOS SOCIAIS DA CIENCIA E DA TECNOLOGIA, ESOCITE 2016: ESOCITE 21 Anos: Trajetórias plurais entre passados e futuros, 2016.
- De Lima, Alves Fabiane. Mulheres na Tecnociência: depoimentos e vivências de mulheres nos cursos de Computação da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Disponível em: http://repositorio.utfpr.edu.br:8080/jspui/bitstream/1/1007/1/CT_PPGTE_M_LIMA%20c%20Fabiane%20Alves%20de_2014.pdf, March.
- Nunes, M.A.S.N.; Louzada, C. S.; Salgueiro, E. M. ; Carvalho, B. T. A. ; Lima, P. S. ; Figueredo, R. M. C. T.; Mapeamento de iniciativas brasileiras que fomentam a entrada de mulheres na Computação . In: 10º WIT, 2016, Porto Alegre. X Women in Information Technology. In: CSBC. Porto Alegre: SBC, 2016. v. 1. p. 2692-2696.
- Maciel, C., Bim, S. A. Programa Meninas Digitais - ações para divulgar a Computação para meninas do ensino médio. In: Computer on the Beach, 2016, Florianópolis. Anais [do] Computer on the Beach, 2016. p. 327-336.
- Navarro, R.; Poder do Coaching: Aumente seu nível. Aprenda. Supere. Conquiste, Instituto Coaching Financeiro e Editora Momentum, ISBN 978-85-66788-04-4, 2014.
- World Economic Forum (2016); “The Global Gender Gap Report 2016, http://www3.weforum.org/docs/GGGR16/WEF_Global_Gender_Gap_Report_2016.pdf, March.

Discussão da Posição de Calouras de Ciência da Computação

Karina Mochetti¹, Raquel Bravo¹, Luciana Salgado¹, Carla Leitão²,
Camille Braga¹, Gabriela Hecksher¹, Kayalla Pontes¹

¹Instituto de Computação – UFF
Niterói, Brasil

²Departamento de Informática – PUC-Rio
Rio de Janeiro, Brasil

{kmochetti, raquel, luciana}@ic.uff.br

cfaria@inf.puc-rio.br

{camillebns, gabrielahecksher, kayallapl}@id.uff.br

Resumo. *A baixa participação de mulheres nas áreas de Computação é um fato preocupante já que diversidade em qualquer ambiente é de vital importância para sua evolução. No cenário de Tecnologia da Informação atual, em que os usuários passaram de consumidores para produtores de tecnologias e conteúdos digitais, este fato é ainda mais alarmante. Esse trabalho descreve a evolução de uma das atividades realizadas pelo Projeto #include <meninas.uff> na Universidade Federal Fluminense (UFF) com os alunos recém-matriculados no curso de Ciência da Computação nos últimos 3 semestres. O objetivo principal do evento é analisar a interação entre os alunos, principalmente com as calouras, nos primeiros dias de aula e promover uma discussão a respeito do baixo número de meninas no curso, abrindo espaço para elas se expressarem.*

Abstract. *The low participation of women in the computer's fields is a disturbing fact since diversity in any environment is vital to a good development, especially in technology where the role of end users is changing and they have gone from consumers to producers. This paper describes our project's activity at our university with the newly enrolled students in the Computer Science course in the last 3 semesters. Our goal is to analyze the interaction among students, especially girls, in the first days of school and promote a discussion about the low number of girls in the course, giving the opportunity for them to share their experiences.*

1. Introdução

A diversidade de profissionais em todas as áreas é fundamental para que seja possível representarmos todos os indivíduos da sociedade moderna e, portanto, termos soluções mais adequadas aos problemas por ela enfrentados. Diante desta afirmativa é preocupante o baixo número de mulheres atuando na área de Tecnologias da Informação. Segundo o PNAD, em 2009 somente 18,84% dos profissionais de Tecnologia da Informação (TI) eram mulheres [de Castro 2013].

A dificuldade de inclusão de mulheres em ambientes dominados por homens não é um problema atual, e traz à tona fatores importantes como o papel da mulher na sociedade, cujas regras são impostas e criadas por homens [de Beauvoir 1949]. Mais especificamente na área de TI, temos atualmente grandes congressos e grupos formados com o objetivo

de estudar esse problema e tentar revertê-lo. Podemos citar, por exemplo, o congresso Grace Hopper Celebration of Women in Computing do Instituto Anita Borg [Gra] e a Association for Women in Mathematics [AWM].

Dentro desse contexto, diversos projetos nacionais foram criados, o principal deles sendo o Programa Meninas Digitais da Sociedade Brasileira da Computação (SBC) [Cristiano Maciel 2016]. Esse programa tem como objetivo motivar alunas do Ensino Médio e Fundamental a seguir carreira na área de Tecnologias da Informação. Ele já possui alguns parceiros como o Emili@as [emi], o Cunhatã Digital [cun], o #include <meninas.uff > [Inc] e também filiais na Região Sul e no Mato Grosso.

Este artigo descreve alguns resultado obtidos após mais de um ano de atividades realizadas pelo Projeto #include <meninas.uff>, do Instituto de Computação (IC) da Universidade Federal Fluminense (UFF). O projeto, além de trabalhar junto a alunas do Ensino Médio e Fundamental, busca atuar junto às alunas do Instituto, visando apoiar sua expressão e bem-estar como minoria de gênero, bem como evitar eventuais evasões em face deste tipo de problema.

2. Objetivo

Pela terceira vez, o Projeto #include <meninas.uff> organizou uma atividade com os alunos recém-inscritos no curso de Ciência da Computação da UFF, no contexto do Evento de Acolhimento dos Calouros, promovido pelo Diretório Acadêmico do curso [Mochetti et al. 2016]. No primeiro semestre de 2017 tivemos a participação de 5 alunas de 35 alunos no total (14%). A mesma porcentagem foi verificada no primeiro semestre de 2016. Já no segundo semestre de 2016 tivemos uma porcentagem ainda menor com 4 alunas num total de 40 alunos (10%).

O curso de Ciência da Computação da UFF existe desde 1985. Dos mais de 3000 alunos que já passaram pelo Instituto de Computação da UFF, somente 16% eram mulheres. Nota-se, contudo, que esse número já pequeno diminuiu muito nos últimos anos, chegando a valores alarmantes como a inscrição de somente uma menina em 2008 [Mochetti et al. 2016]. Com base nessa grave estatística, nosso projeto pretende contribuir para que esse problema seja contornado, motivando alunas do Ensino Médio e Fundamental a seguir carreira na área de TI e emponderando as alunas de graduação e pós-graduação já inclusas na área.

3. Metodologia

A estrutura da atividade foi mantida da mesma forma nos 3 períodos em que foi realizada [Mochetti et al. 2016]. Ela é composta de 3 partes: Primeiramente, os alunos participantes da atividade são posicionados em um grande círculo na intenção de que cada um se apresente para os demais. Ao final desta etapa pedimos a alguns dos participantes que dissessem o nome de algum outro colega, selecionado por nós, pesquisadoras.

Na segunda etapa os alunos foram divididos em grupos, com uma menina por grupo, se possível. No segundo período de 2016 a porcentagem de meninas foi tão baixa que foi necessário criar um grupo somente com meninos. A divisão é feita dando-se um número para cada menina na frente de todos, enquanto cada garoto ao receber seu número deveria procurar a menina correspondente. Desta forma, queremos que as meninas tenham a função indireta de liderança, sem que essa tenha sido imposta diretamente

por nós. Nessa dinâmica cada grupo deve desvendar uma dica de uma caça ao tesouro baseada em uma Cifra de Substituição [Luciano 1987]. A cada período o tipo de cifra e a chave são alterados para evitar que os alunos que já realizaram a atividade em períodos anteriores passem alguma dica para os novos calouros.

A terceira etapa promove um debate aberto com os alunos sobre os motivos pelo qual o número de mulheres na área de Tecnologias da Informação ser cada vez mais baixo.

4. Resultados

Diferentemente do que ocorreu nas duas primeiras edições da acolhida, em 2017, no início de umas das atividades um aluno comentou que a atividade possivelmente estava relacionada com mulheres na computação já que éramos 2 professoras e 3 alunas. Podemos notar que um grupo de mulheres numa área tão masculina é incomum e, portanto, rapidamente chama a atenção e indica o motivo da atividade.

Na primeira etapa da atividade, percebemos o mesmo comportamento todas as vezes. Ao se posicionarem no círculo as alunas normalmente ficam todas juntas, próximas das professoras que estão organizando a atividade. No momento que elas se apresentam todos se calam para escutá-las, o que não acontece com seus colegas. O nome de todas também é rapidamente lembrado por todos, que em alguns casos já sabem o nome delas antes mesmo que estas se apresentem. Normalmente as garotas que se afastam do grupo de meninas são as mais introvertidas e quietas. Este fato se manteve mesmo quando ocorreu uma interação prévia entre os calouros (a atividade realizada no primeiro semestre de 2017 ocorreu após alguns eventos sociais entre os alunos e os calouros).

Na segunda etapa da atividade percebemos que a maioria das alunas tem o papel com a dica retirado de sua mão rapidamente por algum dos garotos. Além disso, é possível notar em alguns grupos que apesar de tentar opinar ou recuperar o papel com a dica, elas por vezes são ignoradas pelos colegas, logo desistindo de participar ou tentando decifrar sozinha sem participação do seu time.

O grupo vencedor no terceiro período de atividade, no entanto, teve a aluna como líder o tempo todo. Ela não deixou que retirassem o papel de sua mão e decifrou rapidamente a mensagem praticamente sozinha, levando todos do seu time até o prêmio. Ela se mostrou independente e emponderada o tempo todo. Durante a última etapa da atividade, descobrimos que sua mãe é professora de matemática na universidade e que seu interesse pela área começou desde cedo. Por ter uma pessoa próxima na área, ela já imaginava que o número de meninas seria baixo.

Em todas as atividades percebemos que a presença de veteranos – mesmo que somente dois – coíbe os calouros, que têm receio de se expressar na etapa da atividade de discussão. Essa presença independe do sexo, já que veteranas também atrapalharam a boa evolução da atividade. Apesar disso, as meninas sempre parecem interessadas e dispostas a compartilhar suas histórias e experiências. Percebemos no discurso da maioria que apesar de saberem da baixa porcentagem de mulheres no curso elas ainda se assustam com o baixo número assim que sai a lista de aprovados.

Atualmente temos no Projeto **#include <meninas.uff>** duas alunas que participaram da atividade como calouras no primeiro semestre de 2016. Segunda elas, após a apresentação do Projeto **#include <meninas.uff>**, muitos meninos comentaram que

acharam ótima elas terem compartilhados suas experiências e que não tinham ideia de como era a sensação de ser uma menina na área de TI. Além disso, elas se sentem felizes e surpresas ao verem mulheres bem sucedidas na área e ao terem o apoio de um projeto dedicado somente a elas. Assim, podemos concluir que o projeto está tendo um efeito positivo na inclusão de meninas nos primeiros dias de aula.

5. Conclusão

A análise das recorrências em três edições do acolhimento dos calouros de ciência da computação visando a reflexão sobre a posição das meninas no curso e na carreira revelou, através de inúmeras evidências verbais que:

- Desde a escolha da carreira as meninas sentem-se desmotivadas pela sociedade (inclusive pela família) a procurar carreira nas ciências exatas. Isto reforça a importância dos projetos de incentivo à carreira no Ensino Médio e Fundamental, mas também revela que aquelas que escolhem a carreira o fazem sob a pressão da minoria e podem necessitar de apoio para reafirmar e permanecer firmes em sua escolha ao longo do estudo na graduação.
- O incentivo à inserção de alunas que já participaram do acolhimento no Projeto **#include <meninas.uff>** é forte incentivo para a permanência na carreira além de exemplo e motivação para as calouras que encontram nessas veteranas exemplos de sucesso na opção.
- O papel dos veteranos na atividade, independente de gênero, é hoje mais de obstáculo do que de colaboração. O desafio, para edições futuras, é a definição de ações que permitam que os veteranos se transformem em aliados do projeto.

Trabalhos futuros mostram-se interessantes em relação ao acompanhamento da evolução das participantes do acolhimento no curso de Ciência da Computação e no levantamento mais aprofundado da percepção dos meninos quanto à atividade realizada.

Referências

- Association for Women in Mathematics. sites.google.com/site/awmmath.
- Cunhatã Digital. www.facebook.com/cunhantadigital.
- Emili@as. <https://www.facebook.com/emiliasarmacaoembits>.
- Grace Hopper Celebration of Women in Computing. ghc.anitaborg.org.
- #include <meninas.uff>**. www.facebook.com/include.meninas.uff.
- Cristiano Maciel, S. A. B. (2016). Programa meninas digitais - ações para divulgar a computação para meninas do ensino médio. In *Computer on the Beach*.
- de Beauvoir, S. (1949). *O Segundo Sexo*. Nova Fronteira.
- de Castro, B. G. (2013). *Afogados em contratos: o impacto da flexibilização do trabalho nas trajetórias dos profissionais de TI*. PhD thesis, UNICAMP.
- Luciano, D. G. P. (1987). Cryptology: From caesar ciphers to public-key cryptosystems. *The College Mathematics Journal*, 18.
- Mochetti, K., Salgado, L., Zerbinato, A. V., Souza, B. L., and Avelino, M. R. E. (2016). Ciência da computação também é coisa de menina! *Women in Information Technology at Brazilian Computer Society Congress*.

A Computação sob a Ótica de Meninas do Ensino Médio

Mateus Paludo Santos, Cristina Paludo Santos, Cristiane Ellwanger

Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões (URI)
98.802-470 – Santo Ângelo – RS – Brasil

mateus.paludo14@hotmail.com, paludo@san.uri.br, cristianeellwanger@gmail.com

Abstract. *This paper presents a panorama that reflects a mapping and analysis carried out with high school girls, with the purpose of identifying important aspects to be contemplated in the planning of actions for the democratization of the knowledge and attraction of girls to the area of Computing. The results depict the discrepancies identified in the different spheres outlined in the mapping.*

Resumo. *Este artigo apresenta um panorama que reflete um mapeamento e análise, realizado junto a meninas do ensino médio, com vistas a identificar aspectos importantes a serem contemplados no planejamento de ações voltadas à democratização do saber e atração de meninas para a área de computação. Os resultados retratam as discrepâncias identificadas nas diferentes esferas delineadas no mapeamento.*

1. Introdução

A participação de meninas na área de tecnologia e ciências da computação se constituiu uma temática no debate acerca da importância do equilíbrio entre os gêneros nessas áreas. Neste sentido, diversas estratégias estão sendo adotadas com a finalidade de democratizar o saber e o acesso de meninas nas áreas científicas e tecnológicas e quebrar estigmas que foram culturalmente estabelecidos.

Vieira *et al.* (2013) propôs a produção de peças teatrais como estratégia para possibilitar aos participantes compreender os fundamentos da computação de forma clara e divertida. Já França (2015) propôs o uso do modelo penC em um curso de construção de jogos digitais como forma de introduzir conceitos de lógica de programação em iniciantes na área. Além desta, várias outras iniciativas estão sendo promovidas como forma de desenvolver habilidades por meio da lógica de programação, sendo recorrente o uso de ambientes visuais de programação tais como Scratch [Souza *et al.*, 2015][Rodrigues *et al.*, 2015], App Inventor [Garcia *et al.*, 2016] e RoboMind [Schoeffel *et al.*, 2015].

Tais iniciativas, apesar de utilizarem diferentes estratégias, convergem em sua finalidade disseminando o pensamento computacional como forma de atrair as meninas para a área de computação e, a partir disso, inspirar novos talentos. Estas iniciativas demonstram resultados positivos e negativos em seus desenvolvimentos e tais resultados são importantes para que as ações possam ser otimizadas e replicadas em outras regiões do país.

No entanto, a elaboração de novas estratégias ou a replicação de iniciativas bem sucedidas perpassa pelo entendimento da realidade do público-alvo para o qual a estratégia será aplicada. Neste contexto, insere-se este trabalho que tem como intuito realizar um levantamento de dados

com vistas a mapear o interesse e conhecimento de meninas, do município de abrangência deste trabalho, no que se refere à área de computação e, a partir disso, definir estratégias com vistas a contribuir para que ocorram mudanças no cenário atual. A metodologia adotada para este mapeamento, bem como os resultados obtidos são apresentados nas seções subsequentes.

2. Procedimentos Metodológicos

Para adquirir informações sobre os diferentes matizes de meninas do ensino médio em relação à área de computação elaborou-se um questionário composto por 31 questões divididas, conceitualmente, em quatro (4) principais esferas:

- (1) Mapeamento do perfil do público-alvo
- (2) Comportamento em relação ao uso da tecnologia;
- (3) Conhecimento em relação a área de computação e,
- (4) Interesse do público em relação a cursos relacionados com a área de computação.

Na esfera 1 foram consideradas questões relacionadas à idade das meninas, ano escolar que está sendo cursado, se estuda em rede pública ou privada, se já decidiu em que carreira seguirá os estudos, qual a área de sua preferência e a renda salarial média da família. Já, na esfera 2 as questões envolvem identificar se há o costume do uso de tecnologias no desenvolvimento de trabalhos escolares, com que frequência tais recursos são utilizados, que tipo de recursos mais utiliza e se possui computador em casa.

Para a esfera 3 foram definidas 14 questões que envolvem, por exemplo: *“Você sabe o faz um profissional de computação e quais as funções que podem desempenhar?”*; *“Você sabe como funciona um programa de computador?”*; *“Um curso de computação só ensina a usar softwares?”*; *“Trabalhar em computação permite que você exerça sua criatividade?”*; dentre outras.

Na esfera 4 as questões estão relacionadas com o interesse do público-alvo pela área incluindo questões como: *“Você pensa em seguir carreira na área de computação?”*; *“Você gostaria de ser criadora de um aplicativo que auxiliaria diversas pessoas?”*; *“Você já realizou algum curso relacionado com a área de computação?”*; *“Você gostaria de participar de cursos para aprender mais sobre a área de computação?”*; dentre outras.

O questionário foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisas com Seres Humanos da instituição executora sob o número 032-04/PPH-09, obtendo-se o termo de consentimento livre e esclarecido. A aplicação foi realizada em 5 escolas do município. A resposta aos questionários ocorreu de forma anônima e voluntária.

3. Resultados Obtidos

Nesta seção são apresentados os resultados significativos das análises gráficas provenientes de questionários respondidos por 198 meninas, sendo: 24% do primeiro ano, 36% do segundo ano e 40% do último ano do ensino médio (**esfera 1**). Das meninas participantes da pesquisa, 53% estudam em escolas públicas e 47% em escolas privadas; 48% já decidiram em que carreira seguirão seus estudos, enquanto 52% estão em dúvida ou ainda não decidiram. Quanto a área de preferência, 40% indicaram Humanas, 32% Exatas e 28% Biológicas. A renda salarial média das famílias é de R\$2.800,00 em 45% dos casos.

Quanto ao uso de tecnologias (**esfera 2**), 82% afirmam usar frequentemente recursos tecnológicos para o desenvolvimento de trabalhos escolares e 18% só utilizam quando o

professor solicita. Os recursos mais utilizados são Internet, editores de texto, editores de imagens, redes sociais e e-mail. Recursos como programação e robótica foram citados por apenas 13% das meninas. Todas as participantes indicam que usam tecnologias diariamente; 79% possuem computador em casa.

Com relação a **esfera 3**, 12% indicam saber quais as competências e funções que um profissional de computação pode exercer, 88% têm apenas uma noção ou não sabem; 68% percebem que a área é promissora com ampla demanda por profissionais e com várias possibilidades de atuação; 20% veem a computação como uma área difícil que envolve muita matemática e 12% relacionam a área com o público masculino. Para as demais questões relacionadas a esta esfera, obteve-se os seguintes resultados: 5% acreditam que um curso de computação somente ensina a utilizar software, 25% não sabem o que é ensinado e 70% não vinculam um curso de computação apenas a utilização de softwares; 52% acreditam ser necessário saber utilizar o computador para fazer um curso superior na área de computação; 48% acreditam que não ser necessário ou não sabem; 60% acham que é difícil a inserção de profissionais da área no mercado de trabalho; 87% indicam que trabalhar em computação permite que exercer a criatividade; 41% acreditam que quem trabalha em computação recebe bons salário, entretanto, 51% não sabem qual a faixa salarial para a profissão.

Quanto ao interesse do público-alvo em relação à área (**esfera 4**) obteve-se os seguintes resultados: 69% não pensam em seguir carreira na área de computação, enquanto 31% cogita ou pensa em seguir carreira na área; 66% gostariam de desenvolver aplicativos, desde que hajam incentivos para a aprendizagem (cursos); 62% gostariam de participar de cursos para aprender mais sobre computação; 75% nunca realizaram cursos.

4. Discussões e Direcionamentos

A partir dos resultados obtidos e do estabelecimento de correlações entre as diferentes esferas é possível fazer inferências que podem servir como ponto de partida para a articulação de um plano de ações que conduza a intervenções na realidade atual. A Tabela 1 apresenta algumas inferências realizadas.

Tabela 1. Correlações entre esferas e inferências

Correlações entre as esferas	Inferências
Esferas 1 e 2: 52% estão em dúvida ou ainda não decidiram a carreira a seguir; 13% citaram o uso de programação e robótica na confecção de trabalhos escolares.	<ul style="list-style-type: none"> • Meninas que tem interesse em programação e robótica podem ser motivadoras das meninas que ainda estão em dúvida ou ainda não optaram pela carreira.
Esferas 1 e 3: 88% das meninas tem apenas uma noção ou não sabem quais as competências de um profissional da computação; 32% têm preferência pela área das exatas; 52% estão em dúvida ou não decidiram que carreira irão seguir	<ul style="list-style-type: none"> • Falta explanações mais claras sobre a área • Muitas meninas que têm preferências pela área de Exatas podem estar em dúvida sobre a carreira a seguir. Se tais meninas receberem informações de forma que compreendam melhor a área poderão decidir-se pela computação.
Esferas 1 e 4: Renda salarial média da família de R\$2.800,00 em 45% dos casos; 75% nunca realizaram nenhum curso na área; 62% gostariam de participar de cursos	<ul style="list-style-type: none"> • A renda familiar pode ter influenciado pelo alto percentual de meninas que nunca realizaram nenhum curso na área. • Apesar de não optarem por seguir carreira na área, têm o interesse na qualificação por meio de cursos para aprender mais sobre a área.

<p>Esferas 3 e 4: 87% indicam que trabalhar em computação permite que exercer a criatividade; 70% acreditam que a área da computação vai além da simples utilização de software; 66% gostariam de desenvolver aplicativos; 75% nunca realizaram cursos</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Grande parte das meninas associam a concepção de aplicativos como forma de expressar a criatividade e demonstram interesse em seu desenvolvimento, no entanto, carecem de cursos.
<p>Esferas 3 e 4: 30% acreditam que cursos de computação tratam apenas da utilização de software ou não sabe o que é ensinado; 60% acham que é difícil a inserção de profissionais da área no mercado de trabalho; 51% não sabem qual a faixa salarial para a profissão; 69% não pensam em seguir carreira na área de computação.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Grande parte das meninas que não pensam em seguir carreira se deve ao fato do desconhecimento do que é abordado em cursos de computação e dos desdobramentos quanto à função e atuação de profissionais da área.

Ao se considerar as particularidades do contexto local pode-se elencar diferentes planos de ação que auxiliem na escolha de estratégias. Neste sentido sugere-se que sejam considerados aspectos como:

- **Factibilidade** (Diante do mapeamento realizado que alternativas podem intervir na situação identificada? É possível realizar? Há coerência entre a dimensão do problema e a dimensão do plano de ação?);
- **Interesse** (A ação proposta desperta o interesse? Mobiliza afetivamente? Realmente há interesse em ver a situação modificada?);
- **Novidade** (A proposta é nova, no sentido de ser um novo momento, um novo grupo? Traz novas perspectivas, novas estratégias? Gera novas ideias e produz mobilizações locais?);
- **Ética** (A iniciativa é ética? O plano de ação leva em conta os valores e princípios da realidade local?) e,
- **Relevância** (o problema é relevante? Significativo? Sua solução gerará muitas aprendizagens? Melhorará uma dada realidade?).

5. Considerações Finais

Este trabalho teve como objetivo traçar um panorama que retratasse a computação sob a ótica de meninas do ensino médio. O mapeamento realizado apresenta-se como uma estratégia eficaz para auxiliar a visibilidade da área e para articular soluções que impulsionem ações transformadoras.

Embora tenha ocorrido dificuldades na operacionalização do questionário dado a falta de abertura e o tempo de retorno das escolas, obteve-se um número expressivo de participantes, o que proporcionou a realização das inferências e demais desdobramentos delineados nesta pesquisa.

Além das correlações apresentadas, outras induzem a novos questionamentos abrindo espaço para a condução de novas pesquisas com vistas a ampliar a compreensão da situação atual e a articulação de ações. Cabe destacar que os dados obtidos e análises servem de subsídio para o desenvolvimento de um plano de ações a ser executado como próxima etapa do projeto. A confirmação ou refutação das inferências apresentadas neste estudo carecem da realização e avaliação das atividades traçadas no plano de ação.

Referências Bibliográficas

- França, Rozelma. and Tedesco, Patrícia. "Desafios e oportunidades ao ensino do pensamento computacional na educação básica no Brasil." *Anais dos Workshops do Congresso Brasileiro de Informática na Educação*. Vol. 4. No. 1. 2015.
- Garcia, Victor Ronchi, *et al.* "Despertando Jovens Talentos com o Conhecimento da Computação." *Anais do Workshop de Informática na Escola*. Vol. 22. No. 1. 2016.
- Rodriguez, C. *et al.* (2015). Pensamento computacional: transformando ideias em jogos digitais usando o Scratch. In: Anais do Workshop em Informática na Educação. Sociedade Brasileira de Computação, 2015.
- Schoeffel, Pablo, *et al.* "Uma Experiência no Ensino de Pensamento Computacional para Alunos do Ensino Fundamental." *Anais dos Workshops do Congresso Brasileiro de Informática na Educação*. Vol. 4. No. 1. 2015.
- Souza, Suenny Mascarenhas, *et al.* "Oficinas de Programação com Ambientes Lúdicos para Meninas do Ensino Fundamental." (2015).
- Vieira, A., Passos, O. and Barreto, R. Um Relato de Experiência do Uso da Técnica Computação Desplugada. In: Anais do XXI Workshop sobre Educação em Computação. SBC, 2013. p. 670-679.

Panorama da Participação Feminina em Competições de Programação Promovida por Instituição de Ensino Superior da Região Norte

Marcela Sávia Picanço Pessoa^{1,2}, Sérgio Cleger Tamayo², Eder Martins Franco²

¹Escola Superior de Tecnologia – Universidade do Estado do Amazonas (EST/UEA)
Manaus – AM – Brasil

²Faculdade Fucapi
Manaus – AM – Brasil

msspessoa@uea.edu.br, sergio.cleger@gmail.com, efranco23@gmail.com

Abstract. *This paper presents the impact of the realization of local computer events as a method to increase the interest of the students in programming competitions. Analyzing a brief history of the female participation in these competitions, this work discusses the reasons related to the low representation of woman in this segment, a problem which is beyond local frontiers, following a world trending, and presents some actions taken to change this scenery in a private university from Manaus.*

Resumo. *Este artigo apresenta o impacto da realização de eventos científicos locais como um método para aumentar o interesse dos alunos em competições de programação. Analisando um breve histórico da participação feminina nestas competições, este trabalho discute as razões relacionadas à baixa representação da mulher neste segmento, um problema que está além das fronteiras locais, seguindo uma tendência mundial, e apresenta algumas ações tomadas para mudar esse cenário em uma universidade particular de Manaus.*

1. Introdução

A Computação é uma área com predominante presença masculina. Esta característica é presente também nas escolhas de ensino superior. Segundo o INEP (2014), somente 29,8% dos ingressantes no ensino superior que optam por cursos na área de Ciências, Matemática e Computação são do sexo feminino, e dentre estes somente 15% optam pelos cursos de computação [Nunes, SBC 2015] [Oliveira *et al.*, 2014].

É possível observar esta tendência em atividades que envolvem participação em competições tecnológicas, como Maratonas de Programação e Hackatonas. Em 2015, durante a realização da final mundial da competição organizada pela ICPC-ACM, foi comemorado um avanço de 1500% no número de participantes, quando comparado ao ano de 1997. Nesta edição participaram 384 competidores, sendo somente 9 do sexo feminino, representando 2% do total de participantes [ICPC-ACM, 2016].

Esta realidade se repete no Brasil, inclusive na Região Norte, mas existem várias iniciativas na tentativa de minimizar esta diferença [Freitas *et al.*, 2016] [Lauschner *et*

al., 2016]. Neste contexto, a Faculdade Fucapi¹, uma universidade privada de Manaus – AM, a partir de 2012, começou a desenvolver ações acadêmicas que, de forma indireta, incentivaram a participação de meninas em competições. Neste artigo é apresentado um diagnóstico com base na participação de mulheres em competição de programação tecnológica de um evento científico regional e algumas ações que foram desenvolvidas para contribuir com a mudança do cenário em questão na Faculdade Fucapi.

2. Cenário anterior

Até o ano de 2011 a Faculdade Fucapi participava da Maratona de Programação [MP, 2016], parte do *International Contest Programming Contest* da *Association of Computing Machinery* (The ICPC-ACM) [ICPC-ACM, 2016], e geralmente era representada por uma equipe onde não havia mulheres entre os membros. Por não haver políticas de incentivo à participação dos alunos neste tipo de competição, as equipes eram formadas a partir de convites de professores interessados em engajar os alunos em atividades extraclasses que ajudassem a desenvolver suas habilidades em programação.

A Universidade Federal do Amazonas sempre foi a única instituição a sediar a competição e desenvolve um trabalho de conscientização da importância deste tipo atividade para a formação acadêmica, porém, é perceptível a dificuldade em envolver instituições privadas na competição. Diante deste cenário, a Faculdade Fucapi definiu políticas para aumentar o número de alunos em competições e de eventos científicos. Entre estas políticas está a organização do Encontro Regional de Computação e Sistemas de Informação (ENCOSIS²), evento que no ano de 2017 está em sua sexta edição e tem o apoio da SBC. O diferencial deste evento é que as principais atividades da sua programação estão concentradas no turno noturno, buscando incentivar também alunos de instituições privadas da região norte a participarem de maneira mais efetiva em eventos que estimulem a produção científica. Uma das atividades principais do evento é a realização de uma Maratona de Programação, como descrita a seguir.

2. Maratona de Programação do ENCOSIS

A Competição de Programação do ENCOSIS segue os moldes da Maratona de Programação [MP, 2016]. Este tipo de competição conta com equipes de três alunos, que devem resolver uma quantidade de problemas em um intervalo de tempo, vencendo o desafio a equipe que responder mais questões no menor intervalo de tempo. Além disso, essas competições buscam promover a criatividade, a capacidade de trabalho em equipe, a busca de novas soluções de software e a habilidade de resolver problemas sob pressão, todas elas características necessárias também aos profissionais de informática.

O objetivo inicial da competição proposta pelo ENCOSIS era aumentar a participação de estudantes de instituições privadas nas competições de programação tecnológicas. Porém, ao tomar conhecimento do Programa Meninas Digitais, da SBC [Maciel, 2016] em 2013, reforçado pelo Cunhatã Digital [Lauschner *et al.*, 2016], decidiu-se analisar a participação feminina nas competições do ENCOSIS. Foram

¹ www.fucapi.br

² www.encosis.com.br

analisados dois aspectos: 1) comparação de competidores por sexo e 2) comparação de participantes do sexo feminino por instituição de ensino (particular ou pública), como segue.

2.1. Análise dos Competidores por Sexo

Em sua primeira edição, a Maratona de Programação do ENCOSIS (2012) contou com a participação de 27 equipes, compostas por alunos de 6 instituições diferentes. Dos 81 competidores somente 12 eram mulheres, representando 14,8% do total de participantes. Este comportamento se repetiu nos próximos 4 anos, como mostra o Gráfico 1. Observa-se que o maior percentual de participação de competidores do sexo feminino aconteceu em 2014 e, ainda assim, este percentual não chegou a 20%.



Gráfico 1 - Participantes por sexo na Maratona de Programação do ENCOSIS.



Gráfico 2 Participação Feminina por IES Públicas e Privadas.

2.2. Análise de Competidores do sexo Feminino por tipo de Instituição

Considerando a observação de que a minoria de competidores é do sexo feminino e resgatando o objetivo inicial da maratona de programação do ENCOSIS, fez-se uma análise da participação feminina dividindo-a em dois grupos: Instituições de Ensino Superior (IES) Públicas e Privadas.

No Gráfico 2 é possível observar que a participação feminina entre as IES é equivalente. Porém é importante destacar que no ano de 2014 houve uma diminuição de 40% no número de equipes participantes de IES Públicas, e não houve representantes femininos entre as equipes. Somente 5 meninas competiram e todas eram da Faculdade Fucapi, instituição promotora do evento, que é privada. Já em relação ao sexo masculino, a participação das IES públicas é quase o dobro da participação das IES privadas. Um outro ponto que se observou é que dentre os participantes, na maioria dos casos, as mulheres participaram somente em uma edição, já a maioria dos homens participa em mais de uma edição (30% das equipes).

Posto isto, em 2014 deu-se início a um trabalho de incentivo à participação de meninas da Faculdade Fucapi em competição de programação, como mostra a seção seguinte.

3. Estratégia para inserção de alunas em competições de programação

Na tentativa de aumentar a participação de alunas da Faculdade Fucapi em competições de programação, desenvolveu trabalhos baseados em duas etapas:

Inclusão

Nesta etapa foi realizado um conjunto de atividades para incentivar as alunas a participarem de competições tecnológicas. Entre as atividades estão: 1) Encontros para conversas informais e palestras motivacionais com pesquisadores, competidores, ex-competidores e treinadores; 2) Inclusão, na programação do ENCOSIS, de atividades relacionadas à participação de meninas na área de tecnologia, em parceria com o Movimento Cunhatã Digital [Lauschner *et al.*, 2016]; 3) Palestras na Faculdade Fucapi para ressaltar o papel da mulher no mundo da computação; e 4) Promoção de atividades de competições individuais;

Treinamento

Nesta etapa buscou-se desenvolver um conjunto de atividades direcionadas ao desenvolvimento de habilidades individuais e em grupo, necessárias para a participação em competições, tais como: 1) Sugestões sobre ambientes de competições a todos os novos integrantes do grupo; 2) Orientações e dinâmicas para composição de equipes (desde a chegada de novos membros até a definição das equipes que participaram das competições); 3) Orientação sobre técnicas de trabalho em equipe.

4. Considerações Finais

Este artigo apresentou um diagnóstico a respeito da participação feminina nas Maratonas de Programação do ENCOSIS. Como base nesse diagnóstico e incentivado pelos Programas Meninas Digitais [Maciel, 2016] e Cunhatã Digital [Lauschner *et al.*, 2016] da SBC, foram propostas ações para incentivar a participação de alunas da Faculdade Fucapi em competições de programação tecnológicas, através da criação de um evento científico, como uma Maratona de Programação. Uma das conquistas do ENCOSIS foi aumentar a participação de estudantes da Faculdade Fucapi na Maratona de Programação [MP, 2016] uma vez que a partir de 2012 a instituição participou de todas as edições com no mínimo três equipes.

Quando considera a participação feminina, a partir de 2014, início das ações descritas neste artigo, sempre tem integrantes do sexo feminino nas equipes representantes da Faculdade Fucapi na Maratona de Programação [MP, 2016]. No ano de 2014 a instituição participou com uma equipe só de meninas e neste mesmo ano, foi a única instituição a ter representantes femininos na Maratona de Programação do ENCOSIS, conforme apresentado no Gráfico 2. O objetivo inicial de divulgar e gerar cultura de competições de programação em IES privadas não foi alcançado uma vez que nas últimas duas edições houve uma redução no número de instituições privadas participantes. Porém, observou-se o aumento de número de equipes na etapa regional da Maratona de Programação [MP, 2016].

Uma outra observação em relação à Faculdade Fucapi é que foi crescente a participação de mulheres nas competições de programação do ENCOSIS. No ano de 2014, 100% das competidoras são da Faculdade Fucapi e nos anos de 2015 e 2016, 50%

das meninas participantes são da Faculdade Fucapi. Nas próximas edições do evento, pretende-se fazer um trabalho de incentivo à participação de mulheres de tal forma que estes percentuais de participação aumentem - não só na instituição promotora como em outras IES - e, com o tempo, trabalhar a melhoria no desempenho, uma vez que na metodologia utilizada não se analisou o desempenho. Entre as ações estão programadas palestras dentro e fora da instituição, criação de grupos de estudo para treinamento de competidores, uma maratona somente feminina e avaliações diagnósticas.

Agradecimentos

Um agradecimento especial ao Projeto Cunhatã Digital pela disponibilidade em participar de atividades do ENCOSIS e pela parceria nas últimas edições, em especial à professora Rosiane de Freitas Rodrigues, da Universidade Federal do Amazonas, não só pela atuação no projeto Cunhatã Digital como também pela histórica atuação, na região norte, no que diz respeito a competições de programação tecnológicas, sendo a maior incentivadora deste trabalho.

4. Referências

- Freitas, R. *et al* (2016) "Projeto SciTechGirls: desenvolvimento de aplicativos e participação em competições de programação científicas e tecnológicas" In: XXXVI Congresso da Sociedade Brasileira de Computação 2016, Porto Alegre, p 2723-2727.
- ICPC-ACM (2016). International collegiate programming contest. Association for Computing Machinery (ACM). Disponível em <https://icpc.baylor.edu/>.
- Lauschner, T. *et al.* (2016). "Cunhantã Digital: programa de incentivo à participação de mulheres da região amazônica na Computação e áreas afins". In XXXVI Congresso da Sociedade Brasileira de Computação 2016, Porto Alegre, p 2656-2660.
- Maciel, C., Bim, S. A. (2016) Programa Meninas Digitais - ações para divulgar a Computação para meninas do ensino médio, In: Computer on the Beach 2016, Florianópolis, SC, pp.327-336.
- MP (2016). Maratona de programação. The ICPC-ACM South America - Brazil. Sociedade Brasileira de Computação. Disponível em <http://maratona.ime.usp.br/>.
- Nunes, D.J. (2015) "Educação Superior em Computação Estatísticas - 2015". <http://www.sbc.org.br/documentos-da-sbc/category/133-estatisticas>.
- Oliveira, A.C. *et al.* (2014) "Perfil Feminino em Computação: Análise Inicial", In: XXXIV Congresso da Sociedade Brasileira de Computação - CSBC 2014, Brasília, WEI - XXII Workshop sobre Educação em Computação, p 1465-1474.
- Sinopse Estatística da Educação Superior, (2014) <http://portal.inep.gov.br/sinopses-estatisticas-da-educacao-superior>.
- Site da Sociedade Brasileira de Computação. "Programa Meninas Digitais da Sociedade Brasileira de Computação (SBC) incentiva participação de mulheres no mercado de TI" <http://www.sbc.org.br/noticias/1855-programa-meninas-digitais-da-sociedade-brasileira-de-computacao-sbc-incentiva-participacao-de-mulheres-no-mercado-de-ti>.

Gurias na Computação: fortalecendo e incentivando a participação feminina no Ensino Superior

Isadora Garcia Ferrão, Aline Vieira de Mello, Amanda Meincke Melo

Universidade Federal do Pampa (Unipampa) - Campus Alegrete Av. Tiarajú, 810 - Ibirapuitã - 97.546-550 - Alegrete - RS - Brasil

isadora-gf@hotmail.com, {alinemello, amanda.melo}@unipampa.edu.br

***Abstract.** In the context of publicizing and encouraging the women's participation in TI area, this work reports initiatives of the Gurias in Computing extension activity. Targeted at girls who are in basic education and students of undergraduate computer programs, this activity organizes a series of actions, including meetings, the production of a game, the dissemination of undergraduate programs, among others. In this way, Gurias in Computing has given visibility to women's participation in computing and contributed to the strengthening of links between students of undergraduate computer programs.*

***Resumo.** No contexto de divulgação e incentivo à participação de mulheres na área de TI, este trabalho relata iniciativas da atividade de extensão universitária Gurias na Computação. Voltada a meninas que estão na Educação Básica e a graduandas de cursos na área da Computação, essa atividade organiza uma série de ações, incluindo encontros, a produção de um jogo, a divulgação dos cursos de graduação, entre outras. Dessa forma, tem se dado visibilidade à participação das mulheres na Computação e contribuído ao fortalecimento de vínculos entre acadêmicas dos cursos da área.*

1. Introdução

Embora vários nomes femininos tenham feito contribuições significativas na área de Tecnologia da Informação (TI), há pouca visibilidade de modelos femininos. A exclusão de mulheres em ambientes profissionais e estudantis, a falta de incentivo para seguirem carreira nas exatas e a cultura masculina criada na Computação são alguns fatores citados para a área ter menos mulheres ao longo dos anos [Burge e Suarez 2005; Beaubouef e Zhang 2011]. Nesse contexto, ações têm sido desenvolvidas para incentivar a participação feminina na área, a exemplo do programa Meninas Digitais, da Sociedade Brasileira de Computação (SBC) [CSBC 2011].

Deste modo, levando em conta a necessidade de ser debatida inserção da mulher na Computação e o desconforto de acadêmicas dos cursos Ciência da Computação e Engenharia de Software da Unipampa com a realidade apresentada, organizou-se o Fórum Gurias na Computação [Ferrão e Melo 2016]. A amplitude de assuntos e possibilidades identificadas durante as edições do Fórum, impulsionou a organização

atividade Gurias na Computação, cujo objetivo é promover ações que ampliem a participação feminina na área da Computação. A atividade Gurias na Computação está vinculada ao programa de extensão Programa C - Comunidade, Computação, Cultura, Comunicação, Ciência, Cidadania, Criatividade, Colaboração [Mello e Melo 2017] e tem sido um importante espaço para discutir assuntos relacionados às questões de gênero na área da Computação.

As ações da Gurias na Computação têm como público alvo alunas de escolas da Educação Básica (Ensino Fundamental e Médio) e graduandas dos cursos da área da Computação do município. As ações voltadas às alunas da Educação Básica têm como objetivo apresentar a área da Computação como uma possibilidade para que elas desenvolvam suas carreiras profissionais e, desta forma, ampliar o ingresso de meninas nos cursos da área. Já as ações voltadas para as graduandas têm como objetivo reduzir a evasão dos cursos de Computação, ampliando, assim, a participação feminina no mercado de trabalho da área de TI e também na academia.

Este artigo tem o objetivo de apresentar a atividade Gurias na Computação, as ações desenvolvidas até o momento, os resultados obtidos, os desafios encontrados e as perspectivas futuras. O restante deste texto está organizado como segue. A metodologia adotada para a organização, execução e avaliação das ações é descrita na seção 2. A seção 3 apresenta os resultados obtidos. Por fim, as considerações finais e perspectivas futuras são apresentadas na seção 4.

2. Metodologia

A equipe executora da Gurias na Computação é composta por sete discentes e três docentes dos cursos de Ciência da Computação e Engenharia de Software da Unipampa, a maioria do gênero feminino e todos voluntários. Além disso, discentes e docentes do curso de Análise e Desenvolvimento de Sistemas do Instituto Federal Farroupilha - Campus Alegrete são parceiros nas ações desenvolvidas.

A equipe executora do Gurias na Computação realiza reuniões periódicas, nas quais são discutidas e organizadas, de forma colaborativa, as ações a serem executadas. Parte do trabalho desenvolvido pelos extensionistas é realizado a distância com o apoio de ferramentas gratuitas que facilitam a organização, a comunicação, a colaboração e o compartilhamento de ideias e de artefatos. Suas ações são avaliadas por todos os envolvidos - participantes e membros da equipe executora.

A comunicação da Gurias na Computação com a comunidade é realizada, na maioria das vezes, através da página em uma rede social e por compartilhamentos de suas publicações nessa rede. Os membros da comunidade podem assumir diferentes papéis nas ações de extensão, como: ouvintes, partes interessadas, coautores, palestrantes e avaliadores.

O Quadro 1 sumariza as ações desenvolvidas desde a criação da atividade Gurias na Computação, em março de 2016, bem como seu público alvo.

Quadro 1. Ações da Gurias na Computação realizadas até março de 2017.

Ação	Data	Público-alvo
Criação da página Gurias na Computação	06 de junho de 2016	comunidade
I Encontro Gurias na Computação	25 de junho de 2016	graduandos dos cursos da área de Computação do município
Divulgação do perfil de mulheres de destaque na área da Computação	julho a dezembro de 2016	comunidade
Participação de mulheres em ações de divulgação dos cursos de Computação	contínuo	alunos da educação básica
II Encontro Gurias na Computação	12 de outubro de 2016	graduandos dos cursos da área de Computação do município
Projeto Codificar	novembro e dezembro de 2016	alunos do ensino médio do município
Apresentação de trabalhos no SIEPE	22 a 24 de novembro de 2016	graduandos de diferentes cursos da região
Painel em alusão ao dia Internacional da Mulher	08 de março de 2017	comunidade acadêmica da universidade

3. Resultados

Durante o I Encontro Gurias na Computação, com o tema “O Protagonismo Feminino” [Lopes, Ferrão e Mello 2016], compartilharam-se perfis de mulheres que atuam na Computação e os participantes se divertiram e aprenderam com o jogo de tabuleiro Mulheres na Computação, composto por um conjunto de perguntas elaborado com base no perfil de mulheres de destaque na história da área [Lopes et al. 2016]. O encontro originou a divulgação periódica do perfil de mulheres de destaque na área da Computação na página Gurias na Computação, na rede social Facebook. Assim, tem-se a expectativa que um número maior de pessoas perceba que muitas mulheres contribuíram e continuam a contribuir para o avanço da Computação no Brasil e no mundo.

O envolvimento de meninas na divulgação dos cursos da área da Computação a estudantes da educação básica do município (ex.: Feira do Livro, Feira de Ciências da EEEF Arthur Hormain) tem mostrado, através do exemplo, que a Computação também é lugar de mulheres. Destaca-se o projeto Codificar, em parceria com o Instituto Federal Farroupilha. Além de envolver meninas do Ensino Médio em atividades de programação para dispositivos móveis, o projeto apresenta em sua equipe executora mulheres de ambas as instituições - entre elas, professoras e alunas.

O II Encontro Gurias na Computação trouxe para o debate o Feminismo, contando com a colaboração de uma professora da Educação Básica do município, que tem estudado e debatido o tema. Clarificou-se, assim, o papel do Feminismo e a sua inter-relação com a inserção da mulher na área de TI. Além disso, acadêmicas da área

da Computação, em fase final de desenvolvimento do curso, compartilharam suas experiências durante a graduação. Esse momento foi bastante significativo, ao proporcionar a valorização de graduandas na área e a identificação dos ouvintes com as experiências apresentadas, incentivando a continuidade dos estudos de graduação.

Mais recentemente, a atividade Gurias na Computação contribuiu à organização de um painel em alusão ao Dia Internacional da Mulher. Além de valorizar as mulheres num Campus com a presença majoritariamente masculina, o painel homenageou a professora Márcia Cera (in memorian), uma das Gurias na Computação que nos deixou precocemente.

4. Considerações Finais

A Gurias na Computação tem proporcionado às acadêmicas dos cursos de Computação do município espaços de escuta e trocas de experiências, fortalecendo-as em sua formação na área da Computação. Além disso, tem incentivado a participação das acadêmicas nas ações que divulgam a área a meninas da Educação Básica, que podem tê-las como modelo e referência, passando a reconhecer os cursos da área da Computação como alternativa de formação profissional.

Algumas ações já foram desenvolvidas voltadas tanto à comunidade interna quanto externa à Universidade. Nas ações voltadas à comunidade interna, pretende-se ampliar o número de participantes, inclusive do gênero masculino, visto que questões de gênero devem ter o envolvimento de todos. Quanto às ações voltadas à comunidade externa, busca-se ampliar a relação com a Educação Básica, por exemplo, pela participação em Feiras das Profissões das Escolas e divulgação do jogo Gurias na Computação em versão digital.

5. Referências

- Beaubouef, T., Zhang, W. (2011) “Where are the women computer science students?”, In: Journal of Computing Sciences in Colleges, v. 26, n. 4, p. 14-20.
- Burge, J., Suarez, T. (2005), “Preliminary Analysis of Factors Affecting Women and African Americans in the Computing Sciences, TAPIA’05.
- CSBC, “Fórum Meninas Digitais”, <http://www.dimap.ufrn.br/csbc2011/eventos/wit.php>, 2011.
- Ferrão, I., Melo, A. (2016), “I Fórum Gurias na Computação: relato de experiências e desdobramentos”, CSBC 2016.
- Lopes, G., Ferrão, I., Mello, A. (2016), “I Encontro Gurias na Computação: O Protagonismo Feminino”, SIEPE 2016.
- Lopes, G., Santos, P., Oliveira, A., Mello, A. (2016), “Jogo Mulheres na Computação: uma Forma de Divulgar o Protagonismo Feminino”, SIEPE 2016.
- Mello, A.; Melo, A. (2017) “Programa C - Comunidade, Computação, Cultura, Comunicação, Ciência, Cidadania, Criatividade, Colaboração”, Interações dialógicas: ações extensionistas das engenharias e da computação com a sociedade, C. Tolfo, Bagé, Ediurcamp, p. 11-30.

A importância de atividades de empoderamento feminino como forma de minimizar a evasão das mulheres nos cursos de Tecnologia da Informação

Thalia S. Santana¹, Ianka T. B. Assis¹, Ramayane B. Braga¹, Natália C. Louzada¹

¹Instituto Federal Goiano – Campus Ceres (IF GOIANO)
Caixa Postal 51 – 76.300-000 – Ceres – GO – Brasil

{thaliassantana15, iankatalitaa}@gmail.com,
{ramayane.santos, natalia.louzada}@ifgoiano.edu.br

Abstract. *The objective of this research is to highlight activities of female empowerment applied in an extension project, this as an incentive for students in high school, technical and higher education to remain in the area of computing. Activities such as emphasizing female representation in computer history, discussion of concepts of feminism and gender, training in fields of increasing TI development, do parts of strategies for minimize the evident evasion of women in this occupation area.*

Resumo. *O objetivo do estudo é destacar atividades de empoderamento feminino aplicadas através de um projeto de extensão, como incentivo às estudantes dos cursos de ensino médio, técnico e superior a permanecerem na área da computação. Atividades como ênfase da representação feminina na história da informática, discussão sobre conceitos de feminismo e gênero, capacitação em campos de crescente desenvolvimento em TI, são parte das estratégias para minimizar a evidente evasão das mulheres nesse ramo.*

1. Introdução

A desproporcionalidade entre homens e mulheres nos ramos de ciência e tecnologia (C & T) é considerada evidente entre os pesquisadores da área. Há vários fatores responsáveis pelo número inferior de mulheres neste campo, sejam socioculturais, econômicos, educativos (SOARES, 2001). Estes, contudo, ainda são de difícil compreensão em nossa sociedade que, muitas vezes, recorre a estereótipos ao se referir à relação profissional e intelectual de mulheres com a informática.

Segundo Schiebinger (2001, p.37) “a ciência moderna é um produto de centenas de anos de exclusão das mulheres, o processo de trazer mulheres para a ciência exigiu, e vai continuar a exigir, profundas mudanças estruturais na cultura, métodos e conteúdo da ciência”. A exemplo disso, apenas no ano de 1913 a participação de mulheres na ciência se tornou objeto de escrita e, no Brasil, estudos significativos a esse respeito foram realizados apenas em 1998 e posteriormente, em 2003. Deste modo, assim como acontece na ciência de maneira geral, na informática, tida como área afim ou subárea da ciência, também não são perceptíveis as ações femininas (SCHWARTZ *et al.*, 2006).

Nosso país possui um histórico de industrialização recente e, portanto, C & T são áreas igualmente recentes - já que acompanham o processo industrial. Contudo,

além da pequena presença de mulheres nas áreas profissionais de informática, é igualmente nítido o fato de que a invisibilização e exclusão tácitas das mulheres nesta área vêm transformando historicamente o campo da tecnologia numa “escolha” quase exclusivamente masculina. Causando uma naturalização das relações sociais de gênero existentes no âmbito da atuação profissional em informática e tecnologia (LETA, 2003).

De acordo com o Programa Internacional de Avaliação de Alunos - PISA (2015), apenas 5% das meninas que possuem expectativas profissionais seguem por áreas de engenharia ou mesmo, computação. Um dos apontamentos deste estudo sugere que a falta de confiança atribuída ao “pensar cientificamente” possui correlação com o gênero dos estudantes. Entre as meninas há uma maior falta de confiança e menor desempenho, entretanto, segundo este estudo, quando meninos e meninas são igualmente confiantes, a diferença de desempenho em matemática por exemplo, é visivelmente reduzida.

Sendo assim, é perceptível a falta de reconhecimento de alguns aspectos importantes - relacionados à ausência de interesse das mulheres pela área. Segundo Schwartz *et al.* (2006), Sales *et al.* (2014) e Castro (2013), desde a escassez de exemplos femininos a serem seguidos, poucas informações sobre oportunidades de crescimento de carreira até temas polêmicos, como paridade salarial, assédio e preconceito, são coeficientes que caracterizam o afastamento feminino da computação. Deste modo, atividades de incentivo a meninas e mulheres possibilitam considerável diminuição da evasão dos cursos de Tecnologia da Informação (TI).

2. Iniciativas de empoderamento

De acordo com Bertrand Russel *et al.* (1979), poder se relaciona à capacidade de suprir desejos, vontades, objetivos, ainda que contra resistências de quaisquer natureza. Nesse sentido, empoderamento, tal como aqui empregamos, significa o acesso à recursos de capacitação, autoestima e pró-atividade que permitam a indivíduos ou grupos conquistar maior poder em diferentes âmbitos: social, econômico, político, cultural. Empoderar, por conseguinte, constitui no processo de construção da autonomia objetivando a transformação da realidade em que sujeitos e grupos estão inseridos.

Conforme Schwartz *et al.* (2006), no que se refere à área de informática, ainda que inúmeras pioneiras sejam reconhecidas como parte importante da história deste campo científico, tais como Augusta Ada Byron e Grace Murray Hopper, a relevância da atuação feminina para a evolução tecnológica vem sendo negligenciada e mesmo omitida, o que contribui para a delimitação das áreas de atuação profissional ligadas à informática como atividades supostamente masculinas.

Por isso, a significativa evasão feminina em cursos de nível médio, técnico e superior ligados a esta área; além da reduzida quantidade de mulheres em carreiras científicas no Brasil, tornam as iniciativas de empoderamento e inserção femininas, parte de estratégias importantes para a equalização das relações de gênero neste campo.

As referidas ações podem ser diversas, adotando as mais diferentes metodologias de sensibilização e formação. A tabela abaixo (Tabela 1) aponta atividades já desenvolvidas ou a serem realizadas, que identificamos como proficuas para o empoderamento feminino no campo da informática, combatendo a evasão escolar.

Tabela 1. Propostas de atividades do projeto em desenvolvimento

Análise e compreensão	Organização de ciclo de debates, mesas redondas e discussões abordando “relações de gênero e protagonismo feminino na computação”; painéis e murais de caráter informativo; estudos das reais situações de exclusão e desestímulo
Conscientização	Palestras, mostra de filmes para promoção de informação; contato com perfis e perspectivas de dificuldade e êxito
Capacitação e aproximação	Organização/participação de oficinas e workshops, além de visitas técnicas em prol de qualificação e viabilização das estudantes e contato com profissionais de sucesso; aproximação de áreas e temáticas; enquetes afetivas relacionadas ao cotidiano de estudo e trabalho das mulheres na área de informática
Produção	Catálogo de produtos e materiais de empoderamento (vídeos, fanzines, aplicativos, etc); criação de um coletivo de estudos e ações

A exemplo dessas iniciativas, a realização de uma palestra recontando essa história com ênfase na participação feminina através da visão de uma profissional de informática, nos proporcionou um *feedback* positivo de estudantes, que, em sua maioria, não conheciam boa parte dessa história. Tais meninas também não possuíam conhecimento quanto a notoriedade da participação feminina na história da tecnologia, eventualmente poderiam obter tal conhecimento como forma de incentivo às futuras estudantes dos cursos de TI.

Em contexto semelhantes a esse, a identificação das representações sociais que compõem o imaginário estudantil acerca de mulheres que estudam e atuam profissionalmente nesse campo pode ser outro caminho interessante, investigando uma possível correlação entre estereótipos de gênero em informática, evasão escolar e desestímulo à atuação profissional feminina. Vale ressaltar que no ambiente aplicado, antes deste, não havia nenhum meio de discussão e desmistificação, fazendo com que as atividades tenham atraído um público bastante sensibilizado e ausente de informações.

No âmbito das atividades desenvolvidas pelas autoras, após a realização de um questionamento com alunas do ensino médio, identificou-se a existência de um sentimento de insegurança com relação a permanência e possível ingresso em cursos superiores em TI, inclusive por falta de capacitação em áreas específicas. Em outra ocasião foi idealizado um bate-papo pelas autoras num *shopping center* como forma de diagnosticar a situação escolar com base no gênero dos estudantes, também constatou-se que, mesmo possuindo interesse pela área, muitas meninas sentem-se intimidadas por ideias preconcebidas, tais como: “informática é muito difícil”, ou “informática é uma atividade mais para homens”, visto que também no contexto imerso, a representatividade é expressa por apenas duas mulheres como professoras no ramo, em meio a cursos de nível médio e superior.

Portanto, com intuito de lidar com tais situações as autoras elaboraram esse projeto a partir das sugestões da SBC - Sociedade Brasileira da Computação - e dos Princípios de Empoderamento da ONU Mulheres, com o objetivo de proporcionar oficinas e palestras para capacitação e desenvolvimento profissional das meninas da

instituição educacional em que atuam. Discutindo questões de gênero e feminismo, além de oferecer às estudantes a formação político-filosófica necessária para questionar preconceitos e transformar a realidade social em que se inserem.

Ademais, para que as iniciativas de empoderamento sejam bem sucedidas, acreditamos ser necessário mapear a situação de gênero nos cursos da área de informática. Nesse sentido, quantificar estudantes dos gêneros masculino e feminino matriculados em cursos de TI, bem como analisar seus índices de aproveitamento acadêmico e evasão, são ações fundamentais para que possamos efetivamente compreender a inserção feminina nas áreas profissionais de informática em nosso país.

3. Considerações finais

As atividades de empoderamento feminino apresentadas neste trabalho são parte integrante da metodologia do projeto, sob a ótica da permanência das meninas nos cursos de Tecnologia da Informação. Com os primeiros resultados positivos, obtidos após a aplicação de questionários referentes às ações concluídas, pretende-se prosseguir com as atividades em prol de resultados mais concisos e um acompanhamento constante dessas estudantes. Ressaltamos que todas as referidas ações vêm sendo desenvolvidas localmente, através de projetos de pesquisa e extensão, que contam com a participação de alunas do curso Técnico em Informática para Internet Integrado ao Ensino Médio, e estudantes do curso de bacharelado em Sistemas de Informação.

Em nossa perspectiva, a visibilidade nestes dois níveis escolares pode contribuir tanto para alterar o quadro de evasão escolar feminina nos cursos ligados à informática, quanto para estimular maior inserção no mercado de trabalho em TI, possibilitando assim a multiplicação dessas ações, inclusive através das redes sociais, a fim de que outras jovens sintam-se motivadas em suas carreiras profissionais.

4. Referências

- Castro, B. (2013) “Os gargalos para o ingresso e a permanência das mulheres no mercado de TI no Brasil”, In: XII Conferencia Regional sobre la Mujer de la America Latina y Caribe.
- Leta, J. (2003) “As mulheres na ciências brasileira: crescimento, contrastes e um perfil de sucesso”, Estudos Avançados, São Paulo, v. 17, n. 49, p. 271-284.
- Pisa em foco (2015) “O que está por trás da desigualdade de gênero na educação?”, [https://www.oecd.org/pisa/pisaproducts/pisainfocus/PIF-49%20\(por\).pdf](https://www.oecd.org/pisa/pisaproducts/pisainfocus/PIF-49%20(por).pdf), Março.
- Russel, B. *et al.* (1979) “O poder: uma nova análise social”, Rio de Janeiro, RJ: Zahar.
- Sales, A. S. *et al.* (2014) “Dificuldades para o ingresso e permanência na ciência e engenharia da computação: um olhar feminino”, In: 18 REDOR.
- Schiebinger, L. (2001) “O feminismo mudou a ciência?”, Bauru, SP: Edusc, 1ª edição.
- Schwartz, J. *et al.* (2006) “Mulheres na informática: quais foram as pioneiras?”, <http://www.scielo.br/pdf/cpa/n27/32144.pdf>, Março.
- Soares, T. A. (2001) “Mulheres em ciência e tecnologia: ascensão limitada”, Química Nova, São Paulo, v. 24, n. 2, p. 281-285.

Perfil das Alunas no Departamento de Computação da Universidade de Brasília

Maristela Holanda, Marília Dantas, Gustavo Couto, Jan Mendonça Correa, Aleteia Patrícia F. de Araújo, Maria Emília T. Walter

Departamento de Ciência da Computação – Universidade de Brasília (UnB)
Campus Darcy Ribeiro - CEP 70910-900 – Brasília – DF – Brasil

{mholanda, jancorrea, aleteia, mariaemilia}@unb.br,

{alves.marilia, gcc.gustavo}@gmail.com

***Abstract.** This paper presents the profile of the students of the course of the Department of Computer Science of the University of Brasília. The profile is composed by analysis of the difference between the students (girls and boys) of the courses of Computer Science, Computer Engineering and Degree in Computing on the questions: entrance of the students; Reason for school dropout and academic grades.*

***Resumo.** Este artigo apresenta o perfil das alunas do curso do Departamento de Computação da Universidade de Brasília. O perfil é composto por análise da diferença entre os alunos e alunas dos cursos de Ciência da Computação, Engenharia da Computação e Licenciatura em Computação nos quesitos: ingressantes nos cursos; motivo de desligamento e rendimento acadêmico.*

1. Introdução

O Brasil tem em média apenas 17% de concluintes do sexo feminino em diferentes cursos de computação nos anos de 2000 a 2013, envolvendo Ciência da Computação, Engenharia da Computação, Sistema de Informação dentre outros (Maia, 2016). Essa realidade também pode ser observada em outros países (Keinan, 2017), (Vardi, 2015), (Stout, 2017).

Com o objetivo de diminuir esta disparidade, foi iniciado o projeto Meninas.comp: Computação também é coisa de menina!. Uma das ações deste projeto foi identificar o perfil das alunas nos cursos do Departamento da Computação da Universidade de Brasília (UnB). Este artigo apresenta uma análise dos dados acadêmicos das alunas nos cursos de Ciência da Computação, Engenharia da Computação e Licenciatura da Computação desta universidade.

Para isso, este artigo está dividido nas seguintes seções. Na Seção 2 são apresentados os dados dos ingressantes e desligados nos cursos do Departamento de Ciência da Computação da Universidade de Brasília. Na Seção 3 uma análise do desempenho acadêmico dos estudantes (alunos e alunas) desses cursos. E por fim, na Seção 4 as conclusões.

2. Entrada e Desligamento nos Cursos de Computação na UnB

Para esta investigação foram analisados dados relativos aos estudantes dos cursos do Departamento de Computação da UnB. A análise foi realizada a partir do ano de criação de cada curso, em 1987 foi a primeira turma do curso de Ciência da Computação, em

1997 foi criado o curso de Licenciatura em Computação e somente em 2009 tem-se os primeiros ingressantes no curso de Engenharia da Computação. Os dados foram extraídos do Sistema de Informação Acadêmica de Graduação – SIGRA da UnB.

Figura 1 tem-se o número de ingressantes por ano e sexo no curso de Ciência da Computação, Licenciatura da Computação e Engenharia da Computação. As linhas em azul e cinza representam os alunos, e as cores amarela, vermelha e verde as alunas dos respectivos cursos. Como é possível observar, em todos os cursos de computação a entrada de meninos é bem maior que o de meninas. Uma questão importante é que a diferença entre o número de meninos e meninas que entraram nos cursos de computação aumentou com o tempo. No curso de Ciência da Computação, na sua primeira turma, o número de meninas (7) em relação ao número de meninos (15) foi de 46%, nos anos 90 baixou para aproximadamente 30%, e em 2013 ficou em 14% o número de meninas (14) em relação aos meninos (98). Para o curso de Licenciatura em computação que iniciou no final da década de 90, o número de entrada de meninas em relação aos meninos sempre foi menor que 20%, chegando no ano de 2014 a apenas 6%, 96 meninos e 6 meninas ingressantes no curso. Em Engenharia da Computação a maior porcentagem foi em 2010 com 23% de meninas (15) em relação aos meninos (66), e a pior foi em 2015 com apenas 5%, 4 meninas e 82 meninos.

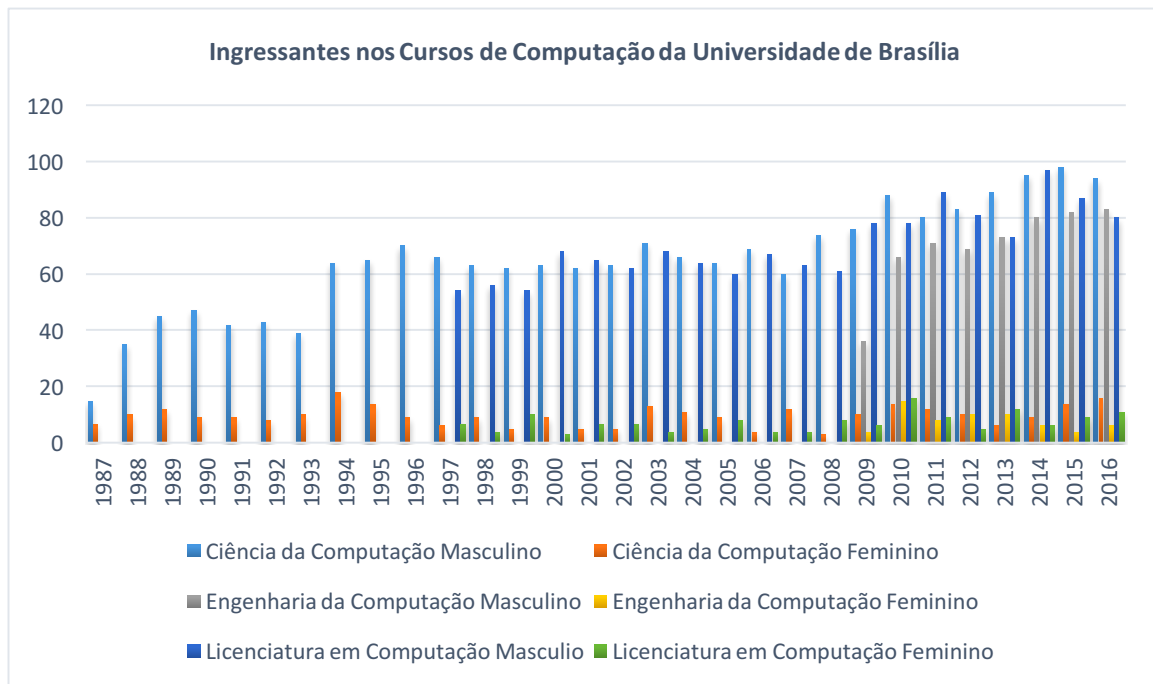


Figura 1. Ingressantes por sexo e ano nos cursos de Computação da UnB.

Um outro dado que fez parte da nossa análise está relacionado com o desligamento no curso (evasão), como pode ser observado na Figura 2. Para entendermos melhor o motivo que levaram os estudantes a se desligarem do curso, apresentamos na Figura 3 uma comparação entre meninas (lado esquerdo) e meninos (lado direito) do motivo que os levaram a serem desligados dos cursos de Ciência da Computação, Licenciatura em Computação e Engenharia da Computação. Os motivos de desligamento de estudantes em cursos na UnB envolvem as seguintes possibilidades:

não cumpriu condição, o estudante tem um número mínimo de disciplinas que precisa ser aprovado ao longo de um ano, caso o estudante não cumpra esse requisito ele entra no estado de “Em condição”, sendo necessário um plano de estudo para sair dessa condição, caso o aluno não cumpra esse plano de estudo ele é desligado da UnB; reprovação 3 vezes na mesma disciplina é outra regra da UnB que leva ao desligamento do estudante; transferência; desligamento voluntário pelo estudante; abandono do estudante; novo vestibular; e Outros.

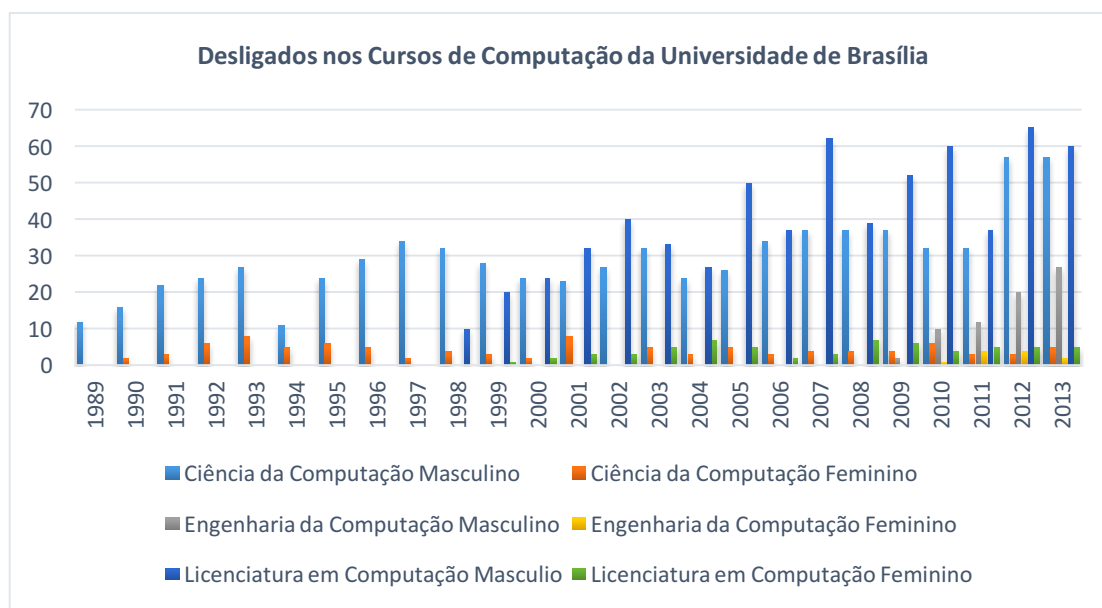


Figura 2. Desligados por sexo e ano nos cursos de Computação da UnB.

Na Figura 3 é possível observar que:

- i) No curso de engenharia as alunas não foram desligadas por abandono, já 11% dos alunos foram desligados por este motivo;
- ii) No curso de Ciência da Computação destacamos que as alunas não foram desligadas por reprovarem três vezes na mesma matéria, mas 6% dos alunos foram desligados por esse motivo;
- iii) O desligamento por não cumprir condição é maior no curso de Licenciatura, principalmente entre as alunas;
- iv) O desligamento voluntário é maior no curso de Ciência da Computação, chegando a ser o dobro em relação ao mesmo motivo nos outros cursos;
- v) O desligamento por abandono no curso de Engenharia é muito inferior se comparado aos outros cursos;
- vi) O desligamento por novo vestibular no curso de Engenharia é muito superior se comparado aos outros cursos;
- vii) Por fim, o desligamento por transferência para outro curso praticamente existe somente no curso de Ciência da Computação.

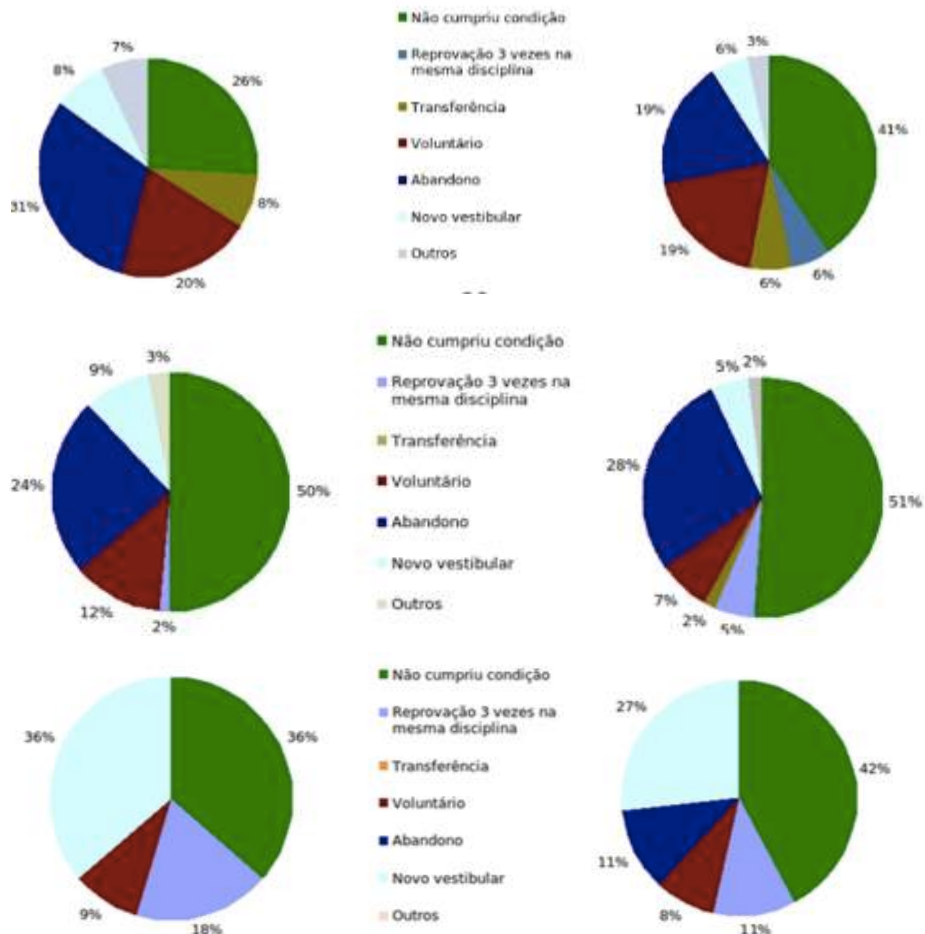


Figura 3. Motivo do desligamento, no lado esquerdo os dados das meninas, no direito os dos meninos na ordem Ciência da Computação, Licenciatura em Computação e Engenharia da Computação.

3. Análise de Desempenho Acadêmico

Os resultados apresentados foram calculados a partir do rendimento acadêmico dos alunos dos anos de 2000 até 2013. A Figura 4 apresenta os dados das médias das notas nas disciplinas dos cursos de computação nesse período, levando em consideração todas as disciplinas cursadas. Como pode ser observado as meninas tem uma ligeira melhora nas notas em relação aos meninos.

De acordo com a análise de dados realizada, identificou-se que os maiores índices de reprovação nos cursos de Computação da UnB eram as disciplinas: Física 1, Cálculo 1, Computação Básica (CB), Estrutura de Dados (ED), Organização de Arquitetura de Computadores (OAC), Software Básico e Organização de Arquivos (AO). A Figura 5 apresenta a média das notas dessas disciplinas, e como pode ser observado, é bem próxima a média de nota das meninas com a dos meninos, sendo que os meninos têm um ligeiro melhor desempenho na disciplina de CB, a primeira disciplina de computação no curso, e as meninas tem uma média melhor de notas na disciplina de Software Básico.

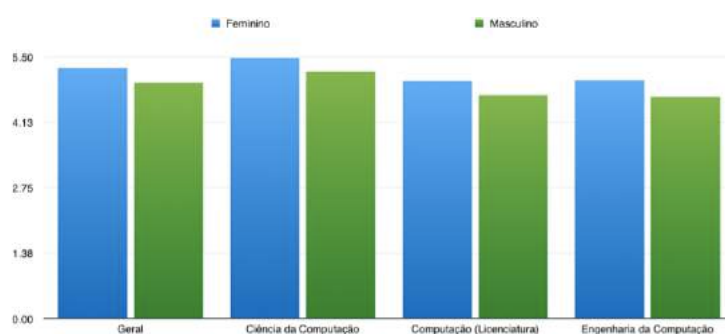


Figura 4. Desempenho acadêmico por sexo e cursos.

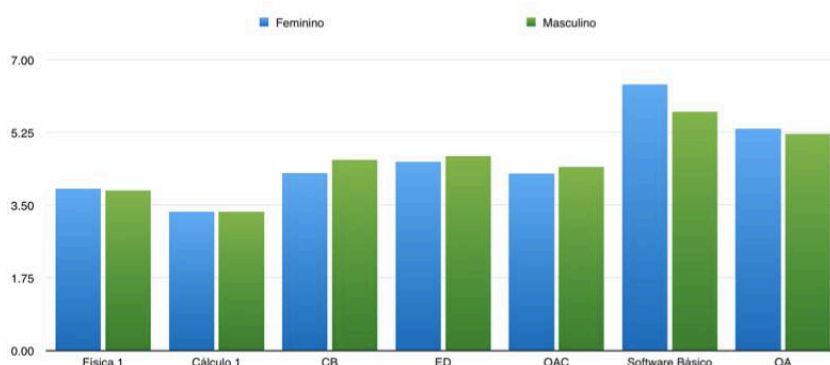


Figura 5. Desempenho acadêmico nas disciplinas com maior índice de reprovação por sexo.

4. Conclusões

O artigo apresenta um resumo da análise do perfil dos estudantes dos Cursos do Departamento de Ciência da Computação da UnB, analisando os três indicadores: ingressantes nos cursos; desligamentos dos alunos; e rendimento acadêmico. Identificamos a diminuição de ingressantes meninas em todos os cursos de computação da UnB. Em relação ao desligamento, os motivos de desligamento são bem variados em relação aos cursos. Em desempenho acadêmico, meninos e meninas tem média próxima de notas, porém olhando todas as disciplinas dos cursos as alunas têm, em média, um desempenho ligeiramente superior aos dos alunos.

Referências

- Keinan, E.. (2017), "A New Frontier: But for Whom? An Analysis of the Micro-Computer and Women's Declining Participation in Computer Science". CMC Senior Teses. 1466. Claremont Colleges..
- Maia, M. M.. (2016), Limites de gênero e presença feminina nos cursos superiores brasileiros do campo da computação. Cadernos Pagu. n.46, pp. 223-244. ISSN 1809-4449.
- Vardi, M. Y., (2015), What Can Be Done about Gender Diversity on Computing? A lot. n 58 (10). Communications of The ACM.
- Stout, J. G., Grunberg, V. A., Ito, T. A. (2016), Gender Roles and Stereotypes about Science Careers Help Explain Women and Men's Science Pursuits. Sex Roles 75:490–499 DOI 10.1007/s11199-016-0647-5.

Por Mais Mulheres na Computação: análise dos trabalhos publicados no X Women in Information Technology

Gisela Cesario¹, Noélya Gonçalves da Silveira¹,
Sílvia Amélia Bim¹, Cristiano Maciel²

¹Departamento Acadêmico de Informática (DAINF) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) Av. Sete de Setembro, 3165, Rebouças - Curitiba - PR - 80230-901 – Brasil

²Instituto de Computação – Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT) Av. Fernando Corrêa da Costa, 2367, Boa Esperança – Cuiabá– MT – Brasil

giselaa@alunos.utfpr.edu.br, lyacampozano@gmail.com,
sabim@utfpr.edu.br, cmaciel@ufmt.br

Abstract. *This article aims to present an analysis of the works published in the 10th Women in Information Technology (WIT), event promoted by the Brazilian Society of Computing. The results show that there are actions to encourage greater participation of women in the areas of Computing in almost all Brazilian regions. In general, the publications of the 10th WIT portray actions developed by higher education institutions.*

Resumo. *O presente artigo tem por objetivo apresentar uma análise dos trabalhos publicados no X Women in Information Technology (WIT), evento promovido pela Sociedade Brasileira de Computação. Os resultados indicam que já existem projetos em todas as regiões do Brasil para fomentar a maior participação das mulheres nas áreas de Computação, em geral, desenvolvidos por instituições públicas de ensino superior.*

1. Introdução

A representatividade das mulheres, estudantes, nos cursos da área de Computação vem decrescendo desde 2001 [Oliveira et al., 2014]. De acordo com o último relatório¹ divulgado pela Sociedade Brasileira de Computação (SBC), observa-se que em 2015 nos cursos de Computação 14,65% das(os) matriculados(as) são mulheres e, dessas, 16% concluem o curso.

Como tentativa de aumentar a proporção de mulheres na área de Tecnologia de Informação (TI), existe uma preocupação em diversas universidades, instituições de fomento e empresas em criar ações de incentivo que promovam o aumento da representatividade das mulheres na Computação.

Em 2011, a Sociedade Brasileira de Computação (SBC) começou a apoiar sua regional no Mato Grosso a desenvolver o Programa Meninas Digitais, sendo oficialmente institucionalizado por essa sociedade em 2016. Tal iniciativa visa “divulgar a área de Computação para despertar o interesse de estudantes do ensino

1 <http://sbc.org.br/documentos-da-sbc/summary/133-estatisticas/1074-educacao-superior-em-computacao-estatisticas-2015>

fundamental/médio/tecnológico” [Maciel e Bim, 2016], incentivando e apoiando a criação de projetos que divulguem a área. Este Programa também realiza o Fórum Meninas Digitais, incluso na programação do WIT - *Women in Information Technology*, evento base do CSBC - Congresso da SBC. Desde 2007, este workshop acontece anualmente para discutir estratégias que visam o aumento da participação de mulheres em TI no Brasil. Em julho de 2016, foi realizada a 10ª edição do WIT. Pela primeira vez foi feita a submissão de trabalhos apresentados na forma de pôsteres.

Assim, o objetivo deste artigo é apresentar a análise dos trabalhos publicados no X WIT, mapeando as ações realizadas no Brasil com identificação das instituições responsáveis, estados e a natureza das ações. Para isso, este artigo apresenta, na seção 2, a metodologia utilizada na pesquisa. A seção 3 discute sobre os resultados obtidos. Por fim, a seção 4 é composta pelas considerações finais seguida das referências bibliográficas.

2. Método de Pesquisa

Para realizar a análise dos artigos publicados nos anais do X WIT, realizou-se uma revisão sistemática com as seguintes etapas: (1) definição das questões de pesquisa; (2) leitura dos artigos; (3) extração dos dados; e (4) análise dos resultados obtidos.

A questão principal da pesquisa era: ***Quais projetos para aumentar a representatividade das mulheres na área da Computação no Brasil são relatados nos trabalhos publicados no X WIT?*** Em seguida, três perguntas foram derivadas desta questão. São elas: QP1 - Em quais estados esses projetos foram criados? QP2 - Quem são as instituições responsáveis por esses projetos? QP3 - Quais ações foram realizadas por estes projetos?

Com intuito de responder às Questões de Pesquisa, foi realizada a leitura dos vinte e cinco artigos publicados nos anais do X WIT². Nesta etapa, todos os trabalhos foram primeiramente analisados para verificar se tratavam de relatos sobre projetos no contexto brasileiro. Desta forma, um artigo foi descartado para a próxima etapa pois apresentava um levantamento de ações estrangeiras. Embora relevantes, outros seis artigos foram descartados pois relatavam pesquisas realizadas sobre o tema Mulheres na Computação. E por fim, mais dois artigos foram descartados, um deles por ser um relato de experiência vivencial e o outro por ser uma proposta de jogo.

Na etapa de extração de dados, os dezesseis artigos selecionados na etapa anterior, foram novamente lidos em busca de respostas para as Questões de Pesquisa. A seção a seguir apresenta a última etapa da pesquisa: a análise dos resultados.

3. Resultados

Neste tópico serão apresentados os resultados, categorizados por Questão de Pesquisa.

QP1 - Em quais estados esses projetos foram criados?

A Figura 1 ilustra a quantidade de projetos descritos nos artigos por estado brasileiro. É possível observar que há ações em todas as regiões do Brasil.

É necessário ressaltar que o fato do evento (X WIT) ter sido realizado em Porto Alegre pode ter influenciado na quantidade de projetos do estado do Rio Grande do Sul. Isto reforça a importância do caráter itinerante do evento, que a cada ano, juntamente com

2 <http://ebooks.pucrs.br/edipucrs/anais/csbc/#/evento/10wit>

o CSBC, é realizado em uma região diferente do Brasil.

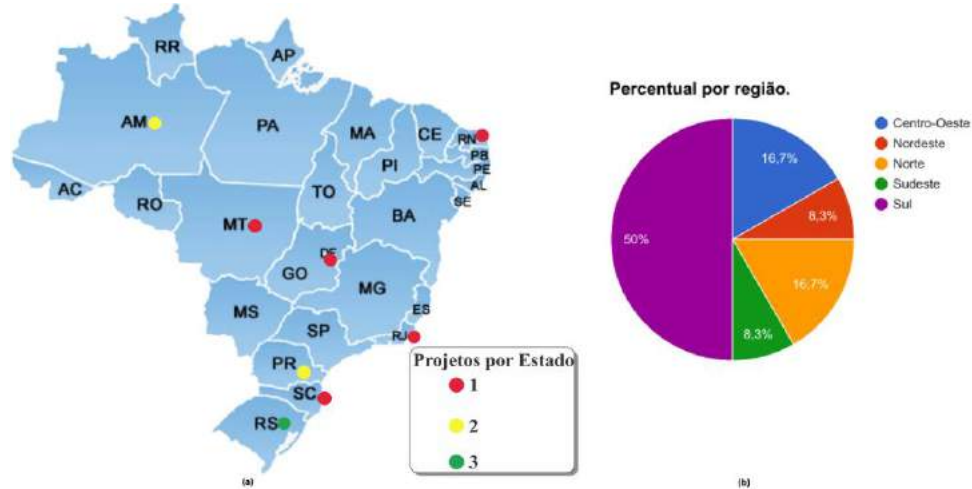


Figura 1. (a) Projetos realizados por estados brasileiros. (b) Percentual por região

QP2 - Quem são as instituições responsáveis por esses projetos?

De acordo com a pesquisa verificou-se que todas as instituições responsáveis pelos projetos, com exceção da Universidade de Caxias do Sul, são universidades da rede pública do Brasil, conforme pode ser visto no gráfico da Figura 2:

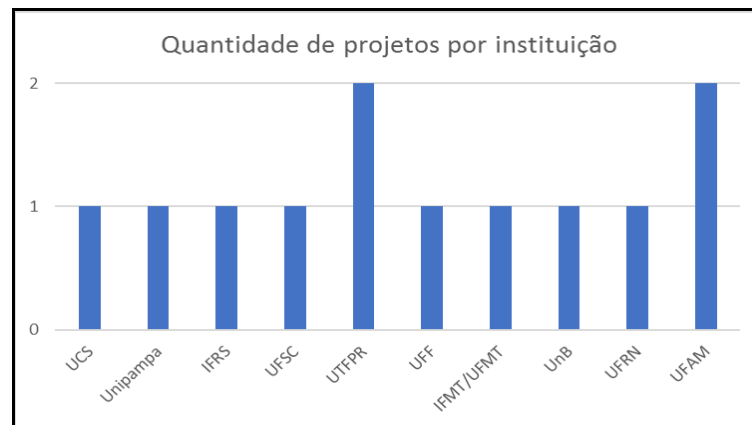


Figura 2. Universidades idealizadoras de projetos

Ao todo, foram mencionados doze projetos descritos no conjunto de artigos selecionados/analísados, a saber: (1) Trazendo Meninas para a Computação (UCS); (2) Gurias na Computação (Unipampa); (3) Mulheres e Jovens na Computação (IFRS – Bento Gonçalves); (4) Meninas Digitais UFSC (UFSC - Araranguá); (5) Meninas, Computação e Música (UTFPR - Cornélio Procópio); (6) Emíli@s – Armação em Bits (UTFPR – Curitiba); (7) #include <meninas.uff> (UFF); (8) Meninas Digitais - Regional Mato Grosso (IFMT e UFMT); (9) Meninas.comp (UnB); (10) Projeto³ (UFRN); (11)

³ Nome do projeto não é citado no artigo. Entretanto, o artigo relata ações referentes “ao projeto”.

SciTech Girls' Project (UFAM); (12) Cunhantã Digital (UFAM).

Destes, quatro não estavam relacionados no site do Programa Meninas Digitais⁴, a saber: Trazendo Meninas para a Computação (UCS), Mulheres e Jovens na Computação (IFRS – Bento Gonçalves), Meninas, Computação e Música (UTFPR - Cornélio Procopio) e SciTech Girls' Project (UFAM).

Sobre os nomes dos projetos diretamente vinculados ao Programa Meninas Digitais é possível perceber uma diversidade de estratégias. Alguns se identificam explicitamente com o nome do Programa, criando especificações por regiões, estados ou instituições. Outros fazem uso de termos regionais e culturais, fortalecendo o vínculo com o contexto onde atuam. Embora com nomes diversificados os projetos fortalecem a relação com o Programa Meninas Digitais ao compartilharem suas experiências na primeira chamada de trabalhos que o programa cria dentro do contexto do WIT.

QP3 - Quais ações foram realizadas por esses projetos?

Diversas ações foram realizadas pelos projetos descritos nos artigos selecionados nesta pesquisa: palestras (citadas em 6 artigos), fórum (1), workshops (2), cursos EAD (1) e oficinas (13).

As oficinas realizadas abordam temas diversos na área de Computação: Interação Humano-Computador, Banco de Dados, Eletrônica, Programação, Robótica e Raciocínio Lógico. As oficinas de Programação são as mais citadas nos artigos analisados, seis citações no total, seguidas de duas citações sobre oficinas de Eletrônica e duas oficinas de Robótica. É interessante verificar que as diversas facetas da Computação estão sendo apresentadas para as estudantes do ensino médio, mostrando a diversidade da área.

4. Considerações Finais

Por meio da análise dos trabalhos publicados no X *Women in Information Technology* (WIT), com base nas três questões de pesquisa, foi possível identificar alguns projetos brasileiros, suas instituições responsáveis e seus estados de origem. Tais projetos propõem uma visão mais ampliada da educação com o estabelecimento de alianças entre docentes, profissionais da área e estudantes em busca do mesmo objetivo: mais mulheres na Computação.

Os indícios encontrados nessa pesquisa, apontam que grande parte das ações promovidas pelos projetos são organizadas por docentes e estudantes universitárias(os), que trabalham de forma voluntária.

Entretanto, é importante ressaltar que a análise aqui realizada concentra-se em um único evento. Inúmeras outras ações e projetos são realizados no Brasil por diversos grupos independentes, empresas e outras instituições de ensino. É imprescindível intensificar a chamada de trabalhos das próximas edições do WIT para que projetos e ações realizadas em outros contextos, além dos acadêmicos da área de Computação, compartilhem suas experiências.

Para o Programa Meninas Digitais, dado que a maioria dos projetos relatados tem relação com esta ação da SBC, este estudo contribui para o alcance das estratégias planejadas para consolidação do programa [Maciel; Bim, 2016], entre as quais está o

4 <http://meninas.sbc.org.br/index.php/projetos/> - em 01/04/2017 constavam no site 28 projetos cadastrados.

estímulo a pesquisa e publicação de artigos das ações realizadas. Ainda, a coleta e análise de dados sobre o programa e seus projetos é fundamental para sua consolidação.

Por fim, apesar da crescente discussão sobre a presença das mulheres na área de TI ainda há muito trabalho a ser feito para alcançar a equidade de gênero dentro deste espaço. Como trabalho futuro, sugere-se a análise dos trabalhos publicados no X WIT que relatam pesquisas, experiências e outras estratégias. Além disto, o mapeamento de todas as ações realizadas no Brasil é imprescindível para que se crie uma rede mais articulada e mais coesa, fortalecendo os esforços para termos mais mulheres na Computação.

Referências

- Maciel, C., Bim, S. A. (2016) “Programa Meninas Digitais - ações para divulgar a Computação para meninas do ensino médio”, In: *Computer on the Beach 2016*, Florianópolis, SC. pp.327-336, <http://www.computeronthebeach.com.br/arquivos-2016/Anais completos - Computer on the Beach 2016.pdf>. Março.
- Oliveira, A. C.; Moro, M. M.; Prates, R.O. (2014) “O. Perfil feminino em computação: Análise inicial”. In: *Anais do XXXIV Congresso da Sociedade Brasileira da Computação – Workshop de Ensino de Computação (WEI2014)*. pp. 1465 – 1474.

Mobilidade urbana na perspectiva das mulheres: hacktivismo no mapeamento de assédio em transportes públicos

Simony C. R. de Moura¹, Jucylene H. A. de Melo²

¹Departamento de Design Gráfico – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB)

Rua Santa Rita de Cássia, 1900 - Jardim Camboinha, Cabedelo - PB, 58103-772

²Departamento de Computação e Tecnologia – Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) – Caicó, RN - Brazil

simonycesarr@gmail.com, jucylenemelo@gmail.com

Abstract. *A programming marathon results in the emergence of a collaborative initiative between Information Technology women and Design women, which the main objective is create a social media for tracking the harassment complaint in public transportation. A social network of feminist, called Nina. With the sharing and storage of such data, the portal will be fed and mapped the main harassment cases, identifying bus lines which have the highest crime rate, the time, the routes, and other information. The big data collected will build the violence against women mapping in public transportation, which could become a platform of social pressure against the government to ask for measures to combat gender violence in urban mobility.*

Resumo. *Uma maratona de programação resulta no surgimento de uma iniciativa colaborativa entre mulheres de Tecnologia da Informação e Design que tem como intuito criar uma rede social para o rastreamento da denúncia de assédio em transportes públicos. Uma rede social feminista, a rede Nina. Com o compartilhamento e armazenagem de dados, o portal será alimentado e mapeará os principais casos de assédio identificando as linhas de ônibus que têm maior índice de crime, o horário, rotas e outras informações. Os dados livres coletados constroem o mapeamento de assédios e podem se tornar uma plataforma de pressão social contra o poder público no sentido de cobrar medidas de combate à violência de gênero na mobilidade urbana.*

1. Introdução

“Cidades inteligentes” tem sido um termo recorrente nas discussões sobre o desenvolvimento das políticas de crescimento urbano. Estão os desafios complexos das cidades distantes do que se entende como qualidade de vida. Tal problemática ascende e alavanca a questão de: como a administração pública pode construir estratégias para solucionar problemas sociais fazendo uso de dados abertos? Ou como a sociedade civil

pode ter acesso a dados e estudos e usá-los de maneira que pressione um posicionamento e uma ação efetiva e eficaz dos gestores públicos?

Hackers, ativistas digitais e todo o público que enxerga a internet como uma ferramenta poderosa começou a dar ainda mais atenção aos temas de transparência pública e democracia de acesso aos dados públicos. As redes horizontais de interação, especialmente as mídias sociais, propiciaram novas formas de comunicação, entre essas a autocomunicação de massa [CASTELLS 2009].

Acesso aos computadores... deve ser ilimitado e total... Todas as informações deveriam ser livres... *Hackers* desconfiam das autoridades e promovem a descentralização... *Hackers* devem ser julgados por seus “*hackeamentos*” e não por outros critérios, tais como escolaridade, idade, raça ou posição social... Você pode criar arte e beleza em um computador... Os computadores podem mudar sua vida para melhor. (LEVY, 2010, p. 28).

Cidades têm inúmeros problemas físicos, mas problemas humanos, comportamentais, como mapeá-los, como desconstruí-los? A Lei de Acesso à Informação (Lei 12527/2011) obriga órgãos públicos federais, estaduais e municipais (ministérios, estatais, governos estaduais, prefeituras, empresas públicas, autarquias) a ceder informações relacionadas às suas atividades a qualquer pessoa que solicitar tais informações. Nesse sentido, organizações público-privadas promoveram um *hackathon*¹ que procurou estimular o uso de *big data* tendo como desafio o seu uso para desenvolver soluções que tivessem impacto nas cidades. Um dos dados dispostos na maratona de programação foi o dado de geolocalização da frota de ônibus da região metropolitana do Recife.

2. A mobilidade urbana na perspectiva das mulheres

A cada 11 minutos uma mulher é estuprada no Brasil. Mais de 5 por hora. 130 mulheres estupradas todos os dias. Apenas 10% dos casos chegam ao conhecimento da polícia, segundo o Fórum Brasileiro de Segurança Pública (2016).

Uma pesquisa² divulgada (2016) pela *ActionAid* e realizada pelo instituto *YouGov* no Brasil, Índia, Tailândia e Reino Unido, ouviu 2.500 mulheres com idade acima de 16 anos nas principais cidades dos quatro países. No Brasil, foram pesquisadas 503 mulheres de todas as regiões do país. Todas as estudantes brasileiras participantes da pesquisa afirmaram que já foram assediadas em suas cidades. 86% das mulheres brasileiras ouvidas disseram já ter sofrido assédio em locais públicos. O levantamento evidencia que o assédio em espaços públicos é um problema global, visto que na Tailândia também 86% das mulheres entrevistadas, seguidas de 79% na Índia, e 75% na Inglaterra já viveram o mesmo problema de assédio.

¹ *Hackathon* significa maratona de programação. O termo resulta de uma combinação das palavras inglesas “*hack*” (programar de forma excepcional) e “*marathon*” (maratona).

² Todos os resultados foram obtidos pelo YouGov. O tamanho total da amostra foi de 2.518 mulheres: 1.013 na Inglaterra, 503 no Brasil, 500 na Tailândia e 502 na Índia. O trabalho de campo foi realizado entre os dias 3 e 11 de maio de 2016. A pesquisa foi realizada online. Os números foram ponderados e são representativos de todas as mulheres maiores de idade em cada país. Para a pesquisa, foram considerados assédios atos indesejados, ameaçadores e agressivos contra as mulheres, podendo configurar abuso verbal, físico, sexual ou emocional. Fonte: ActionAid (actionaid.org.br)

Em relação às formas de assédio sofridas em público pelas brasileiras, o assédio é o mais comum (77%), seguido por olhares insistentes (74%), comentários de cunho sexual (57%) e xingamentos (39%). Metade das mulheres entrevistadas no Brasil disse que já foram seguidas nas ruas, 44% tiveram seus corpos tocados, 37% disseram que homens se exibiram para elas, e 8% foram estupradas. A região Centro-Oeste é onde as mulheres mais sofreram assédio nas ruas, com 92% de incidência. Em seguida, vêm Norte (88%), Nordeste e Sudeste (86%), e Sul (85%).

No levantamento, as mulheres foram questionadas sobre em quais situações elas sentiram mais medo de serem assediadas. 70% responderam que ao andar pelas ruas, 69% ao sair ou chegar em casa depois que escurece e 68% no transporte público.

O JC Trânsito é o maior portal de trânsito de Pernambuco e teve como notícia que mais repercutiu em 2015 assédio em coletivos. Ainda em 2015, o mesmo Portal realizou uma matéria onde entrevista vítimas e mostra a problemática entorno da não denúncia sobre os casos de assédio. O alto índice de silêncio das vítimas traz a reflexão de que o gargalo não está na autodefesa, mas na capacidade de se reconhecer enquanto vítima e fazer a denúncia, já que são a todo momento desencorajadas. Como não são denunciados, estupradores se valem do clima de impunidade. Esse clima não viria somente de falha no sistema judicial, mas também da cultura que estimula o silêncio e culpa duplamente as vítimas pela violência sofrida.



Figura 1. Prints das matérias do Portal JC Trânsito

Os dados estatísticos levantados no estudo, assim como as matérias com relato de vítimas corroboram o comprometimento da mobilidade urbana para as mulheres como impeditivo de desenvolvimento social. Elas têm diariamente o direito de ir e vir negado, restando-lhes duas opções: viver à margem da sociedade ou se arriscar nos caminhos diários e viver à mercê da violência urbana.

3. Sororidade Ciberfeminista

Filas, tumulto, aperto e sufoco. Transporte público, fluxo, corpo vulnerável, disponível, online. Unidas de aparelhos digitais, cada mulher torna-se um alvo móvel. O último senso publicado pela Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) mostra que o Brasil registrou, em maio de 2015, 284,15 milhões de linhas móveis ativas com densidade de distribuição de 139,16 acessos por 100 habitantes.

A articulação com outras desenvolvedoras a partir do grupo *Women Who Code Recife*, na rede social *Facebook*, deu início ao desenvolvimento da rede Nina. A rede visa empoderar as mulheres através de um aplicativo que denuncie tipos de violência que estas sofrem dentro dos espaços públicos, com recorte inicial para transportes públicos. A mulher passa a ter o poder de transformar, em poucos cliques, o seu celular em um “canivete eletrônico” – termo introduzido por Jenkins (2009) – de mapeamento de violência e sororidade³. Ao fazer a denúncia ativa-se uma rede de apoio de outros usuários Nina próximos à vítima.

(...) *Floss (free libre open source software)* para a expansão das redes digitais. Trata-se de comunidades de *hackers* que desenvolvem programas de computador com o código fonte aberto e com licenças de propriedade permissivas que permitem usar, copiar, estudar completamente, melhorar e distribuir as mudanças realizadas no *software*. O código-fonte de um *software* contém as rotinas lógicas detalhadamente encadeadas, escritas em uma linguagem de programação, mostrando tudo que o programa realiza. O código-fonte, uma vez transformado em linguagem de máquina, torna-se um código executável. De posse do código-fonte é possível conhecer, alterar e melhorar o *software*. Todavia, isso não é possível de posse somente do código executável, pois ele converteu o código-fonte em binário, em um conjunto de zeros e uns, que não podem ser entendidos pelos programadores a não ser que realizem um complexo processo de engenharia reversa. (SILVEIRA, 2010, p. 35).

A construção do aplicativo faz-se híbrido por motivos de não haver necessidade de equipes com conhecimento específicos em desenvolvimento mobile para *iOS*, *Android* e *Windows*, o que, teoricamente, requer pouco tempo e menos custos por recursos. Tendo em vista que as integrantes do grupo possuem conhecimentos em tecnologias *Web* como *CSS*, *HTML* e *Java Script*, optou-se por utilizar o *Ionic*. O *Ionic Framework* é um *SDK*⁴ de código aberto que permite aos desenvolvedores criar aplicativos móveis de alta qualidade e de alto desempenho usando tecnologias web familiares (*HTML*, *CSS* e *JavaScript*). O aplicativo foi desenvolvido na versão 1.7 do *Ionic*, porém, devido o lançamento da v.3, mais recente, pretende-se migrar o que se tem do projeto para a nova versão, utilizando o *Angular*⁵ desenvolvido por uma parceria

³. Sororidade é a união e aliança entre mulheres, baseado na empatia e companheirismo, em busca de alcançar objetivos em comum. Fonte: <http://migre.me/vnYU5>

⁴ SDK é a sigla para Software Development Kit (ou Software Developers Kit – pacote de desenvolvimento de software). É esse pacote que permite à programadores elaborarem aplicativos para rodarem em uma plataforma específica.

⁵ É um framework JavaScript open source, mantido pelo Google, que auxilia na execução de single-page applications. Seu objetivo é aumentar aplicativos que podem ser acessados por um navegador web, foi

entre a *Google* e a *Microsoft* com a linguagem *TypeScript*⁶. O *Ionic* na versão 3 foi atualizado para ser compatível com *Angular* 4.0.0. A atualização apresenta novos recursos, componente de interface de usuário personalizados e *Apache Cordova*⁷ que ajuda desenvolvedores a criar aplicativos móveis híbridos e também com suporte para aplicativos desktop.

Depois do primeiro desenvolvimento de códigos estável, a equipe deve ser mantida para manutenção do projeto, porém, os integrantes têm como objetivo transformar o Nina em uma plataforma *open source* para que as pessoas possam estudá-lo. Com isso, muitos usuários acabam incrementando o *software* com funcionalidades extras ou até aplicando consertos de bugs que possam ocorrer. Desta forma, as alterações que são de interesse comum são compartilhadas para todos os usuários e usuárias quando o projeto, através do *Team*, lança uma nova versão estável, e o mesmo tende a crescer exponencialmente tornando-se autossustentável.

Referências bibliográficas

- Castells, Manuel. (2003) “A Galáxia da Internet: Reflexões sobre a internet, os Negócios e a Sociedade”, <http://migre.me/wkoT7>. Acesso em: 30 de outubro de 2016.
- Castells, Manuel. (2009) “Comunicación y poder”, <http://migre.me/wkoZZ>. Acesso em: 30 de outubro de 2016.
- Jenkins, Henry. (2009). “Cultura da Convergência”. Pág. 28 – 30. Aleph.
- Levy, S. (2003) “Hackers - Heroes of the computer revolution”, classes.visitsteve.com/hacking/wp-content/Steven-Levy-Hackers-ch1+2.pdf. Acesso em: 30 de out. de 2016.
- Martins, B. C. (2006) “Cooperação e Livre fluxo da informação. A influência da Cultura Hacker na Definição dos Padrões da Comunicação Mediada por Computador”, <http://migre.me/wkujp>. Acesso em: 29 de outubro de 2016.
- Silveira, Sérgio Amadeu. (2010) “Ciberativismo, cultura hacker e o individualismo colaborativo”, <http://migre.me/wkqdc>. Pág. 35. Acesso em: 03 de agosto de 2016.

construído sob o padrão model-view-view-model (MVVM), em um esforço para facilitar tanto o desenvolvimento quanto o teste dos aplicativos.

⁶ TypeScript é uma linguagem para desenvolvimento JavaScript em larga escala. Com TypeScript podemos escrever código utilizando uma estrutura fortemente tipada e ter este código compilado para JavaScript puro. Qualquer navegador. Qualquer host.

⁷ O Apache Cordova oferece um grupo de APIs que permitem desenvolver uma aplicação com HTML, CSS e JavaScript encapsulada como aplicação móvel nativa. A aplicação é executada no dispositivo móvel e pode acessar as funções nativas do dispositivo, como GPS ou câmera.

Usando técnicas de aprendizagem colaborativa para incentivar o ensino-aprendizagem de programação entre as alunas de cursos de Computação

Géssica M. da S. Alves¹, Jailma J. da Silva¹, Rebeca de Q. Dantas¹, Vanessa F. Dantas¹, Renata V. de Figueiredo¹, Gabriela C. M. de Souza¹

¹ Universidade Federal da Paraíba (UFPB)

{gessica.monique,jailma.januario, rebeca.queiroz, vanessa, renata, gabriela}@dcx.ufpb.br

***Abstract.** Statistically, the entry and permanence of women in technology courses still have low indicators. The Programming subjects are still seen as those with the highest rates of failure, and identified as one of the reasons for women dropping out. This article aims to report an initiative of using Dojo programming technique to empower and encourage women students of Computer Science and Information Systems courses at Federal University of Paraíba (UFPB) to build solutions collaboratively.*

***Resumo.** Estatisticamente, o ingresso e a permanência de mulheres nos cursos da área de tecnologia ainda têm indicadores reduzidos. Dentre as disciplinas com maiores índices de reprovação, estão as de Programação, apontadas como uma das causas da desistência das meninas na área. O presente artigo tem como objetivo relatar uma iniciativa do uso da técnica Dojo de Programação para capacitar e incentivar as discentes dos cursos de Licenciatura em Ciência da Computação e Bacharelado em Sistemas de Informação da Universidade Federal da Paraíba (UFPB) a construir soluções de forma colaborativa.*

1. Introdução

As mulheres ainda são minoria no ingresso e permanência nos cursos de Computação e Ciências Exatas em geral. As estatísticas mostram que, nas universidades de todo o Brasil, há uma discrepância na procura dos cursos de Computação por mulheres em relação aos homens nesta área (Lima, 2013).

Segundo Lima (2013), a concentração de homens em cursos de Ciência da Computação chega a 79,9%. Em alguns casos, o cenário local pode ser ainda mais crítico que o nacional. Por exemplo, na UFPB, especificamente no Campus IV, no semestre em andamento existem 248 alunos regularmente matriculados no curso de Licenciatura em Ciência da Computação. Destes, só 41 são do sexo feminino, o que representa pouco mais de 16% do total. Entre os alunos ingressantes no período anterior, havia apenas uma mulher. Além do ingresso nos cursos de Computação ser menor pelas mulheres, dados mostram que, das mulheres que ingressam nestes cursos, 79% abandonam a faculdade no primeiro ano (SINDPD/SP, 2015).

Segundo Paula et al (2011), uma das principais causas da evasão está na falta de preparo dos alunos ingressantes nas faculdades. Acostumados com o ensino tradicional, baseado em perguntas e respostas prontas, os alunos têm dificuldade de formular novos

conceitos e solucionar problemas complexos, especialmente aqueles que envolvem senso crítico e raciocínio apurado. No caso específico das mulheres, além desses aspectos, há ainda questões como inibição por serem minoria nas turmas, falta de identificação com o curso por não conhecerem mulheres de destaque na área, e o fato de muitas vezes não terem sido estimuladas a desenvolver o raciocínio lógico desde a infância.

É importante adotar medidas que possam contribuir para combater a disparidade entre homens e mulheres na Tecnologia da Informação, aproximando as meninas da área de modo que elas se sintam motivadas e capazes de superar desafios.

Sabendo que algumas dissertações e projetos de fim de curso discutem o uso de Dojos como ferramenta de ensino em cursos superiores [Fontes 2011, Cukier 2009, Bravo 2011], o objetivo deste artigo é relatar uma experiência com a aplicação da técnica para incentivar e capacitar as discentes dos cursos de Computação do Campus IV na área de programação.

Na Seção 2, há uma breve descrição da técnica Dojo e da metodologia empregada neste trabalho. Os dados sobre a realização das sessões de codificação e alguns resultados observados encontram-se na Seção 3. Por fim, a Seção 4 apresenta as considerações finais e perspectivas de trabalhos futuros.

2. Metodologia

A literatura define Dojo de Programação como um encontro de programadores visando à solução de um desafio de programação (Bossavit et al. 2011). Entre seus princípios básicos, está a criação de um ambiente não competitivo e propício ao aprendizado contínuo, permitindo que participantes estejam motivados a contribuir. O Dojo é uma atividade dinâmica e que favorece o aprendizado, incluindo e incentivando os alunos a participar do processo de aprendizado de forma colaborativa (Bossavit et al. 2011) e (Sato et al. 2008).

Para que fosse possível a realização de sessões Dojo de Programação junto às discentes dos cursos de Computação da UFPB, Campus IV, foram definidas três etapas importantes: um estudo sobre os diferentes formatos de Dojo e suas diretrizes, uma pesquisa sobre problemas de programação adequados ao nível de conhecimento das discentes, e um planejamento sobre a avaliação da experiência pelas alunas.

2.1 Estudo sobre a técnica Dojo

Inicialmente, foi realizado um estudo sobre as diferentes técnicas de Dojo existentes, com o objetivo de escolher aquela que fosse mais adequada para um primeiro contato com as discentes. Segundo Sato et al. (2008), existem três formatos de encontros: Kata, Randori e Kake. Em todos eles, os alunos são incentivados a trabalhar colaborativamente, muitas vezes se revezando entre duplas e entre máquinas, mas existem algumas diferenças no modo de condução das sessões.

O formato escolhido para aplicação foi o Randori, que propõe que, diante de um problema de programação proposto, as alunas se alternem, a cada seis minutos, nos papéis de piloto e co-piloto em uma única máquina, de modo que a plateia possa

acompanhar a construção do código, opinando e fazendo questionamentos. O objetivo é garantir a interação entre as envolvidas, tornando o ambiente colaborativo.

2.2 Escolha de problemas de programação

Para que fossem selecionadas questões adequadas ao nível de conhecimento das alunas, foram feitas buscas em repositórios de questões, como o do juiz online URI (<https://www.urionlinejudge.com.br/>), e também foram realizadas conversas com os professores da disciplina Linguagem de Programação, ofertada para ambos os cursos de Computação da instituição. A linguagem Java foi escolhida para ser abordada em todas as sessões Dojo, uma vez que ela é objeto de estudo da citada disciplina.

2.3 Planejamento da avaliação

Com o objetivo de obter feedback das alunas sobre o uso do Dojo de programação, foi elaborado um formulário online composto por perguntas objetivas (com escala variando entre muito ruim, ruim, regular, bom e muito bom), e discursivas acerca das sessões realizadas. As questões contemplavam aspectos como percepção sobre o tempo estimado e a complexidade dos problemas, clareza das instrutoras na comunicação, e satisfação quanto à participação nas atividades.

3. Resultados e Discussão

Foram realizadas duas sessões Dojo, uma no mês de setembro e outra em novembro, com a participação de sete alunas dos cursos de Licenciatura em Ciência da Computação e Bacharelado em Sistemas de Informação. Em ambas as ocasiões, as apresentadoras, que também são alunas dos cursos da instituição, introduziram os problemas a serem resolvidos, e logo em seguida iniciaram a dinâmica da troca de duplas na construção colaborativa da solução.

A primeira sessão foi mais longa, com duração de duas horas, para que as alunas tivessem tempo de se adaptar à técnica e ao trabalho em duplas, uma vez que todas relataram não terem conhecimento algum sobre o Dojo. Já a segunda sessão teve uma participação mais ativa das discentes, que conseguiram resolver o problema proposto em apenas uma hora.

Após as sessões, todas as participantes responderam o questionário de avaliação previamente elaborado, e foi possível obter informações relevantes sobre as percepções delas. Quando questionadas sobre o grau de satisfação em participar da atividade, as respostas se dividiram entre bom (50%) e muito bom (50%). Quanto à comunicação das apresentadoras durante as sessões, 83,3% delas consideraram a comunicação muito boa, e 16,7% julgaram que foi boa. Esses dois indicadores indicam que as alunas aprovaram a técnica, e a forma como foram conduzidas as sessões.

Já em relação à adequação do tempo de cada sessão para os problemas propostos, 66,7% consideraram que foi regular, e 33,33% acharam que foi bom. Quando questionadas sobre o grau de dificuldade dos problemas apresentados, as respostas se dividiram entre bom (16,7%), regular (33,3%), e ruim (50%). Esses dois indicadores evidenciam a necessidade de reformulação futura das sessões, de modo que sejam

escolhidos problemas mais simples e que possam ser resolvidos no tempo proposto confortavelmente.

No campo discursivo do formulário em que eram pedidas sugestões, as participantes afirmaram que é preciso experimentar dinâmicas como as do Dojo, relataram a importância da iniciativa, e destacaram o quanto gostariam que outros problemas do mundo real fossem usados nas próximas sessões, como exercício das habilidades de programação.

4. Considerações Finais

Além das dificuldades comumente encontradas para compreender lógica de programação, muitas vezes as mulheres que ingressam em cursos de tecnologia se vêem também inibidas por serem minoria e não se sentem à vontade para fazerem perguntas em sala, o que pode tornar o aprendizado de programação solitário e frustrante.

Com o objetivo de entrosar mais as alunas e incentivá-las na área de programação, este trabalho teve por objetivo utilizar uma técnica diferente de ensino-aprendizado, as sessões Dojo. Embora tenham sido realizadas poucas sessões, e o número de participantes tenha sido pequeno, essa experiência foi fundamental para que a equipe se familiarizasse com a técnica, e pudesse obter um importante feedback para a realização de futuras sessões. Além disso, todas as alunas envolvidas aprovaram a iniciativa, e venceram algumas de suas limitações, aprendendo de forma participativa e colaborativa.

Espera-se que novas sessões Dojo sejam realizadas, envolvendo também alunas de outras disciplinas de programação dos cursos, e que possam ser analisados dados que evidenciem o impacto dessa técnica no desempenho acadêmico das discentes.

Referências

- Bossavit, L., Gaillot, E. and Bache, E. (2011). Coding Dojo Wiki: What Is Coding Dojo. Wiki. <http://codingdojo.org/cgi-bin/wiki.pl?WhatIsCodingDojo>.
- Bravo, M. (2011). Abordagens para o ensino de práticas de programação extrema. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.
- Cukier, D. (2009). Padrões para introduzir novas ideias na indústria de software. Dissertação USP 2009.
- Fontes, B. (2011). Coding dojo: novas possibilidades para o ensino de programação. Projeto de Diplomação, Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ.
- Lima, M. P (2013) “As mulheres na Ciência da Computação”. Rev. Estud. Fem. vol 21 no.3. Florianópolis.
- Paula, L. Q., PIVA JR., D., FREITAS, R. L. A Importância da Leitura e da Abstração do Problema no processo de formação do raciocínio lógico-abstrato em alunos de Computação. Anais do XVII Workshop sobre Educação em Informática. São Leopoldo – RS, Brasil, 2009.

Sato, D. T., Corbucci, H. and Bravo, M. (2008). Coding Dojo: an environment for learning and sharing agile practices. In Proceedings of the Agile 2008. . IEEE Computer Society. <http://dx.doi.org/10.1109/Agile.2008.11>.

SINDPD/SP (2015). Número de contratações supera demissões no setor de TI no 1º semestre.

<<http://convergenciadigital.uol.com.br/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=40683>>.

Acessado em 21/03/2017.

Aumento da participação feminina em competições de programação tecnológicas através da criação de grupos de treinamento e pesquisa

Marcela Sávia Picanço Pessoa^{1,2}, Sérgio Cleger Tamayo², Juliany Rodrigues Raiol^{1,3}

¹Escola Superior de Tecnologia – Universidade do Estado do Amazonas (EST/UEA)
Manaus – AM – Brasil

²Faculdade Fucapi
Manaus – AM – Brasil

³Samsung Ocean
Manaus – AM – Brasil

msspessoa@uea.edu.br, sergio.cleger@gmail.com, julianyraiol@gmail.com

Abstract. *This paper presents a strategy to increase the interest of students (specially the women) in participate of programming contests, after the creation of a research and training group. This strategy succeeded, increasing the number of students and improving their results in regional contests.*

Resumo. *Este artigo apresenta uma estratégia para despertar o interesse de estudantes, especialmente do sexo feminino, para participar de competições de programação, através da criação de um grupo de treinamento e pesquisa. A estratégia se mostrou eficiente aumentando o número de alunos e melhorando o desempenho em competições regionais.*

1. Introdução

Sabe-se que a mulher foi de grande importância para o desenvolvimento e disseminação da ciência. Ada Lovelace, com a criação do primeiro algoritmo, Grace Hopper, idealizadora do conceito de sub-rotinas e Dana Urely, primeira mulher engenheira a participar de um projeto na NASA, foram algumas das pioneiras a ingressar e exercer influência em um ambiente majoritariamente masculino. Entretanto, mesmo com esta importante participação feminina na ciência, continua pequeno o número de mulheres que ingressa nos cursos. Segundo Oliveira *et al.* (2014) a partir dos anos 80 houve um decréscimo no número de mulheres concluintes nos cursos de computação. Estes índices se reproduzem em atividades que envolvam competições de programação tecnológicas.

Para Fisher (2016), o desinteresse feminino em competições de programação acontece, entre outros fatores, pois as competições são originalmente pensadas para participação masculina. Apesar disso, várias iniciativas surgem para tentar aumentar a participação feminina nestas competições. Este artigo apresenta uma estratégia para aumentar a participação feminina na Universidade do Estado do Amazonas - UEA, em Manaus, através da criação de grupo de treinamento e pesquisa, conforme descrito neste artigo.



Gráfico 1 - Ingresso de mulheres nos três últimos vestibulares

2. Cenário de ingresso nos cursos de computação na universidade estadual

A UEA existe desde 2001, com três cursos na área de computação: Engenharia de Computação, Sistemas de Informação (está no terceiro vestibular e substituiu o curso Tecnólogo em Análise e Desenvolvimento de Sistemas) e Licenciatura em Computação. Porém, o cenário de ingresso de mulheres nestes cursos segue o padrão nacional, sendo em todos eles em menor número que de homens. No Gráfico 1 é possível observar que há um aumento no número de mulheres que optaram por Sistemas de Informação enquanto que esse percentual diminuiu no curso de Licenciatura em Computação.

Um outro problema que foi observado é que as mulheres desta universidade apresentavam menor interesse em participar de competições de programação tecnológicas, como Maratonas de Programação e Hackatonas. Inclusive entre os meninos não havia a cultura de participar de competições. Até o ano de 2014 a UEA só era representada por uma equipe na etapa regional da Maratona de Programação [MP, 2016], parte do *International Contest Programming Contest* da *Association of Computing Machinery* (The ICPC-ACM) [ICPC-ACM 2016] e nunca houve registro de participação feminina oriunda desta universidade na referida competição.

A partir de então, foram tomadas ações para melhorar estes indicadores, através da criação de um grupo de treinamento e pesquisa que utiliza a estratégia descrita a seguir.

3. Estratégia do grupo

O grupo é formado por qualquer aluno da universidade que mostre interesse em programação, inclusive de outros cursos como Matemática, Engenharia de Produção e Elétrica, mesmo que mantenha a maioria de seus integrantes oriundos dos cursos de computação. A dinâmica do grupo segue as etapas descritas nesta seção.

Seleção

Nesta etapa é realizado um conjunto de atividades para incentivar os alunos a participarem do grupo de pesquisa e treinamento. Entre as atividades estão: 1) Visita às salas de aula dos alunos ingressantes na universidade para divulgar o grupo e convidá-los a fazer parte; 2) Palestras proferidas por competidores e ex-competidores; 3)

Encontros para conversas informais com pesquisadores e treinadores de equipes; 4) Divulgação do Movimento Cunhatã Digital (Lauschner *et al.*, 2016) como forma de atrair mulheres; 5) Palestras proferidas por mulheres que atuam na área de computação falando sobre a importância delas para a área.

Treinamento

Nesta etapa são definidos critérios que desenvolvam as habilidades individuais e em grupo, como: 1) Orientações aos novos integrantes do grupo a respeito de ambientes de competições; 2) Cada novo integrante recebe um aluno veterano que vai ajudá-lo a treinar e tirar as dúvidas mais frequentes; 3) São realizadas orientações e dinâmicas para composição de equipes (desde a chegada de novos membros até a definição das equipes que participarão das competições); 4) Orientação sobre técnicas de trabalho em equipe.

Desenvolvimento

Nesta etapa são realizadas atividades que busquem melhorar a eficácia de todos os participantes. Cada um identifica suas habilidades e potencialidades individuais e em grupos e o desempenho em ambientes de competição real. Entre as atividades estão: 1) Desenvolvimento de competições internas (simulados) em ambiente de programação real, preferencialmente acontecendo uma vez por semana; 2) Desenvolvimento de competições por tema (segundo cronograma especificado); 3) Participação em competições oficiais (segundo o cronograma de eventos da região); 4) Encontro semanal para debate e troca de soluções.

Avaliação

Nesta etapa são realizadas as avaliações dos resultados alcançados, das soluções das equipes, dos aspectos que precisam ser melhorados e a definição de novos objetivos. Esta avaliação acontece após cada competição e tem as seguintes atividades: 1) Debate e discussão de soluções; 3) Avaliação do treinamento e identificação das necessidades das equipes; 4) Definição dos objetivos individuais e em grupos.

4. Resultados Alcançados

Em 2015, 1ª edição da etapa regional da Maratona de Programação [MP, 2016] após a criação do grupo, a UEA participou com 6 equipes, sendo que em uma delas havia 2 mulheres. Estas equipes participaram também das competições locais que aconteceram.

Para o ano de 2016, o grupo tinha como meta dobrar quantidade de meninas competindo. Foram realizadas reuniões com calouros, os professores do departamento fizeram um trabalho motivacional e com isto, o número de mulheres participante da etapa regional aumentou para 6, triplicando, desta forma, a participação feminina, além de que, o número de equipes participantes aumentou para 7. Além das competições de programação que aconteceram na cidade, uma equipe participou da VIII Competição Iberoamericana Interuniversitária de Matemática.

Para tentar conhecer a percepção dos integrantes do grupo, foi realizada pesquisa e perguntado a que eles atribuem o aumento da participação feminina nas competições de programação tecnológicas, 90% dos participantes responderam que atribuem à criação do grupo, conforme apresenta o Gráfico 2.

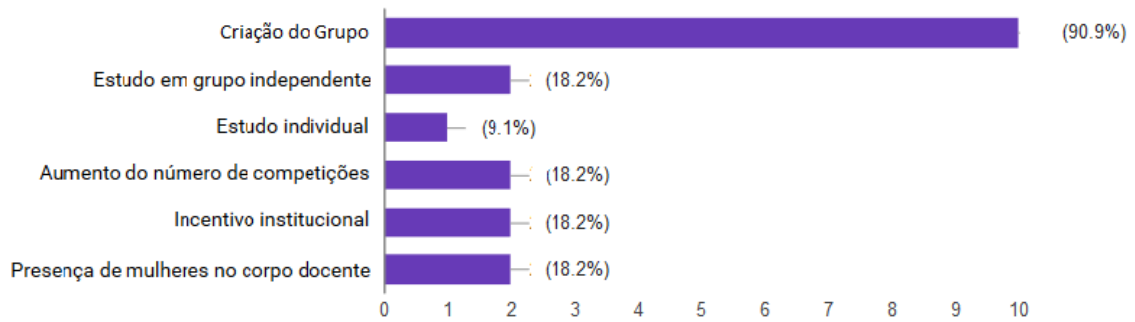


Gráfico 2 - Opinião dos participantes do grupo a respeito das razões que levaram a crescer o número de mulheres em competições de programação.

Para garantir a integração entre os participantes, o grupo se reúne nos laboratórios da UEA. O ingresso de novos alunos é contínuo. A estratégia de estudo é por nível, iniciantes recebem ajuda dos veteranos. A cada semana é passado um conteúdo e aos sábados é feita uma competição com questões relacionadas aos conteúdos da semana.

Como são poucas as alunas que ingressam nos cursos, estas são identificadas e convidadas a participar do grupo. Muito desta ação foi impulsionada pelo trabalho de [Freitas *et al.*, 2016] [Lauschner *et al.*, 2016]. O grande problema é que na UEA os alunos dos cursos de engenharia entram no ciclo básico, embora muitas alunas participem do grupo, algumas optam por outras engenharias e com o tempo preferem ingressar em grupos específicos de seus cursos não dando continuidade ao trabalho.

Em relação às equipes que persistem, um problema que se encontra é que as equipes não tem evoluído em desempenho, porém, observa-se que as mulheres são mais abertas a sugestões de melhoria para novas estratégias. Observa-se ainda que as mulheres têm um posicionamento mais estratégico e de liderança dentro do grupo.

3. Conclusão

Este artigo apresentou uma estratégia para aumentar o número de participantes em competições tecnológicas, dando ênfase à participação feminina, através da criação de um grupo de estudo e pesquisa. A criação do grupo foi eficiente em vários aspectos, desde a melhoria na qualidade dos alunos em sala de aula até no desempenho em competições. O grupo teve equipes em todas as competições realizadas na cidade e em 50% delas conquistou o primeiro lugar. Em relação à participação feminina, houve um grande avanço e cada vez mais se percebe o interesse em participar do grupo e, por consequência, das competições. Algumas ações estão sendo previstas, entre elas a criação de um subgrupo somente com as mulheres.

Agradecimentos

Agradecemos à diretoria regional da Maratona de Programação (The ACM ICPC), em especial à professora Rosiane de Freitas Rodrigues, pesquisadora da Universidade Federal do Amazonas e uma das principais impulsionadoras na região amazônica de projeto que incentivam a participação em competições tecnológicas, especialmente a participação feminina. Aos participantes do Projeto Cunhatã Digital agradecemos o

apoio em todas as atividades e por oportunizar que outras instituições componham a equipe de trabalho.

Parte dos resultados apresentados nesta publicação foi obtida por meio de atividades de Pesquisa e Desenvolvimento do projeto SAMSUNG OCEAN, patrocinado pela Samsung Eletrônica da Amazônia Ltda., apoiado pela SUFRAMA sob os termos da Lei Federal N° 8.248/91.

4. Referências

- Fisher, M., and Cox, A. (2006) "Gender and Programming Contests: Mitigating Exclusionary Practices" In *Informatics in Education* 5 (1): p47-62.
- Freitas, R., Gomes, L., Conte, T. (2016) "Projeto SciTechGirls: desenvolvimento de aplicativos e participação em competições de programação científicas e tecnológicas" In: XXXVI Congresso da Sociedade Brasileira de Computação 2016, Porto Alegre. Anais CSBC 2016, p 1465-1474.
- Lauschner, Tanara (2016). Cunhantã Digital: programa de incentivo à participação de mulheres da região amazônica na Computação e áreas afins. XXXVI Congresso da Sociedade Brasileira de Computação.
- Manzoor, S. (2006) "Analyzing programming contest statistics", In *Perspectives on computer science competitions for (high school) students*. http://www.bwinf.de/competition-workshop/RevisedPapers/13_Manzoor_rev-better.pdf.
- MP (2016). Maratona de programação. The ICPC-ACM South America - Brazil. Sociedade Brasileira de Computação. Disponível em <http://maratona.ime.usp.br/>.
- Oliveira, A.C., Moro, M.M., Prates, R.O. (2014) "Perfil Feminino em Computação: Análise Inicial" In: XXII Workshop sobre Educação em Computação, Brasília, DF, p. 1465-1474.

Participação feminina em cursos de computação: um estudo no Instituto de Computação da Universidade Federal do Amazonas

Fabiola Nakamura¹, Ludymila Lobo¹,
Rosiane de Freitas¹, Taynah Almeida¹,
Ana Lúcia Machado¹, Tanara Lauschner¹

¹Instituto de Computação – Universidade Federal do Amazonas (IComp/UFAM)

{fabiola, llag, rosiane, tmas, analuciamachado, tanara}@icomp.ufam.edu.br

Abstract. *In this work, we presented quantitative and some qualitative aspects of female participation in computing courses of the Federal University of Amazonas (IComp/UFAM) both in undergraduate and graduate courses. It was observed aspects related to the entrance, permanence and graduation of such students, in comparison with the total group of university students. In addition, for the college freshman women admitted in 2017, were carried out analyzes of the profile, previous academic education and preferences of each one, to better understand why they chose to study computing in higher education, what they expect from the course and expectations for their professional careers.*

Resumo. *Neste trabalho são apresentadas análises quantitativas e de alguns aspectos qualitativos sobre a participação feminina nos cursos de Computação do Instituto de Computação da Universidade Federal do Amazonas (IComp/UFAM) na graduação e pós-graduação. Foram observados aspectos relacionados ao ingresso, permanência e formação de tais alunas, em comparação com o grupo total de estudantes universitários. Além disto, para as ingressantes de 2017, foram realizadas análises do perfil, formação prévia e preferências de cada uma, para melhor entender o porquê de terem escolhido cursar Computação no ensino superior, o que esperam do curso e quais as expectativas para suas carreiras profissionais.*

1. Introdução

Segundo dados do PNAD divulgados em 2016, a maioria das mulheres que ingressam no ensino superior em áreas tecnológicas, abandonam o curso no primeiro ano [Programaria 2016]. Em relação aos ingressantes em cursos de computação, o percentual fica em torno de 10% a 12% em universidades como Unicamp, UFRJ e UFMG [Schmidt et al. 2016]. Já em relação à conclusão do curso, do total de formados nos cursos de informática do Brasil, apenas 16% correspondiam à mulheres no ano de 2014 segundo a Sociedade Brasileira de Computação (SBC) [Felitti 2015] [Maciel and Bim] [Monard and Fortes 2013]. Outra estatística que confirma haver desvios entre a expectativa social construída para cada gênero é que na escola, 74% das meninas demonstra interesse nas áreas de ciência, matemática, engenharia e tecnologia, mas apenas 0,4% escolhe a graduação em Ciência da Computação [Programaria 2016].

Visando contornar este preocupante cenário, no ano de 2015 foi criado o Cunhantã Digital: um programa de apoio e incentivo à mulheres na área de Computação e Tecnologia na região Norte do Brasil [Lauschner et al. 2016]. O Cunhantã Digital que associou-se ao movimento em nível nacional, capitaneado pelo Programa Meninas Digitais [Maciel and Bim], na luta pela igualdade de gênero e redução de estereótipos sociais e culturais que limitam a possibilidade de escolhas das mulheres em suas áreas profissionais.

Deste modo, na busca por entender este processo nos cursos do Instituto de Computação da Universidade Federal do Amazonas (IComp/UFAM), este trabalho apresenta uma análise da participação feminina tomando como fonte de investigação seus três cursos de graduação na área de computação: Ciência da Computação(CC), Engenharia da Computação(EC) e Sistemas de Informação(SI).

O restante do texto está organizado como segue. Na Seção 2, serão analisados os dados quantitativos e qualitativos coletados na pesquisa com os cursos do IComp/UFAM, considerando o ingresso, evasão e formação, da seguinte forma: a Subseção 2.1 apresenta os dados históricos gerais da UFAM e alguns dados específicos das alunas recém matriculadas na Universidade, além de dados de alunas do ensino médio relativos ao interesse na área de Tecnologia da Informação (TI). A Seção 2.2 apresenta os dados de evasão e os principais motivos de desistência da área. A Seção 2.3 retrata dados sobre a formação atual das ingressantes do curso de Computação da UFAM. Já a Seção 2.4, mostra o avanço das egressas que concluíram os cursos de TI. Na Seção 3 são apresentadas as perspectivas futuras.

2. Curso, logo existo!

Nesta seção, um retrato quantitativo e qualitativo da participação de mulheres nos cursos de Computação do IComp/UFAM é apresentado. Foram coletados dados da base de dados acadêmica da UFAM. A janela histórica varia por conta do ano de criação de cada curso. Os dados são complementados com uma análise qualitativa das ingressantes de 2017.

2.1. Quem somos, de onde viemos?

Foi realizada uma pesquisa com as ingressantes dos anos de 2017 nos cursos de Ciência da Computação, Engenharia da Computação e Sistemas de Informação da Instituição, para conhecer seus perfis, saber de quais escolas vieram e o que as influenciou na escolha do curso. A pesquisa foi realizada através de um formulário digital. O gráfico da Figura 1 apresenta os resultados obtidos. A oportunidade de trabalhar com novas tecnologias foi um fator decisivo e indica um resultado interessante ao traçar um perfil inovador nesta geração. Vocação e habilidade matemáticas empataram em 2o lugar, indicando escolhas bem conscientes em seus cursos. Por outro lado mercado de trabalho e salário não obtiveram nenhum voto nessa amostra.

O gráfico da Figura 2 mostra o número de ingressantes dos cursos de Ciência da Computação, Engenharia da Computação e Sistemas de Informação, separados por gênero. A média do percentual de mulheres ingressantes em Ciência da Computação com base em dados coletados de 2000 a 2017 é de 17,5%. Os limites foram de 10,5% no ano de 2012 e 29,1% no ano de 2003. Este ano de 2017 houve a segunda maior entrada de mulheres no Curso de Ciência da Computação com 27,7% para estas meninas

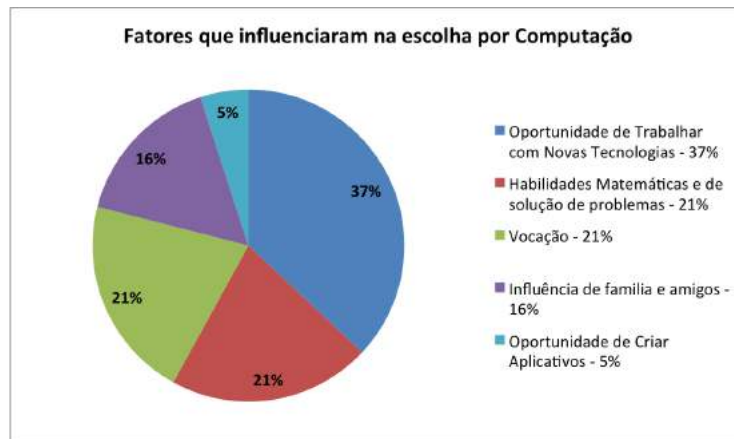


Figura 1. Pesquisa com Calouros de Computação sobre Fatores Decisivos na Escolha da Área.

perguntamos se conheciam algum programa de apoio e incentivo à mulheres na área de TI e 32% delas respondeu que sim.

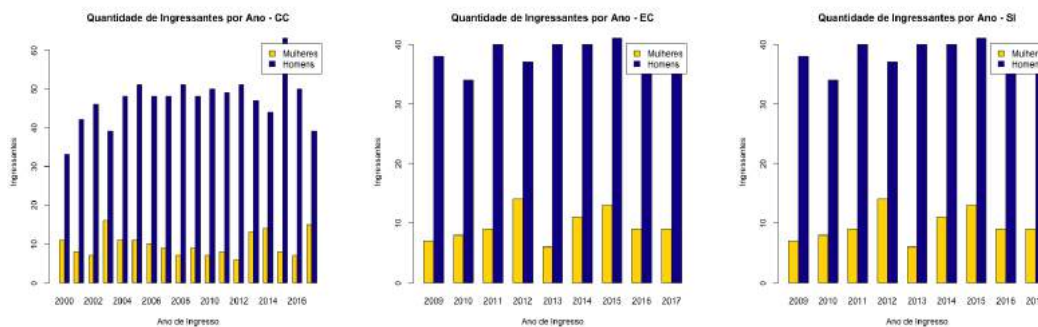


Figura 2. Quantidade de Ingressantes em Computação.

2.2. O que aconteceu pelo meio do caminho?

Abordando o problema da evasão de mulheres na área de TI, foi realizado um levantamento de dados em relação ao número de desistentes dos cursos de Computação, agrupados por gênero. A análise foi realizada através de dados obtidos com a Coordenação Acadêmica do IComp/UFAM.

A Figura 3 mostra uma importante informação, em números percentuais as mulheres se formam mais que os homens nos três cursos avaliados.

2.3. Onde fomos parar?

Após as análises de ingresso e permanência de meninas nos cursos de graduação foi realizada coleta de dados em relação aos cursos de mestrado e doutorado do Programa de Pós-graduação em Informática (PPGI) da UFAM, para verificar se a proporção de desigualdade é mantida. Os dados foram obtidos através da Coordenação Acadêmica de forma anônima. Os gráficos da Figura 4 mostram os resultados para ingressantes no Curso de Mestrado(M) e Doutorado(D) em Informática. Observando-se os dados percebe-se que,

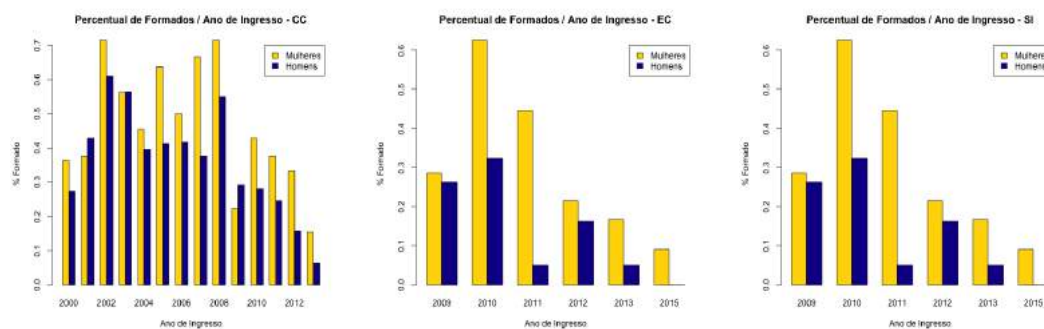


Figura 3. Percentual de Formados em Computação.

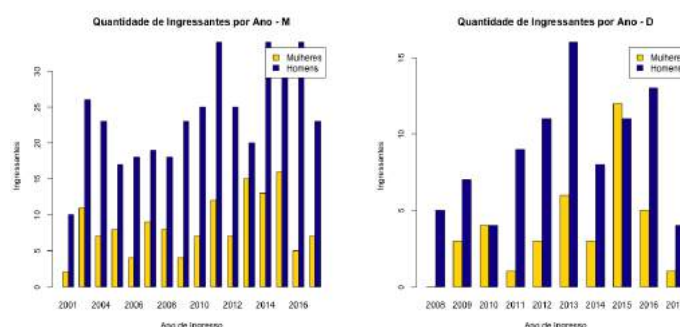


Figura 4. Quantidade de Ingressantes em Pós-Graduação.

no mínimo, as mulheres são 20% nesta amostra, mas destacam-se os anos de 2002 para o Mestrado e de 2015 para o Doutorado, porque nestes anos as mulheres foram maioria.

O gráfico da Figura 5 mostra o percentual de Formandos nos Programas de Mestrado e Doutorado, divididos por gênero. Percebe-se o comportamento parecido com os cursos de graduação, ou seja, a relação percentual entre homens e mulheres que defendem a dissertação ou tese é praticamente igualitária, tendo alguma vantagem feminina ou masculina dependendo do ano, sendo bem diferente da relação de alunos ingressantes.

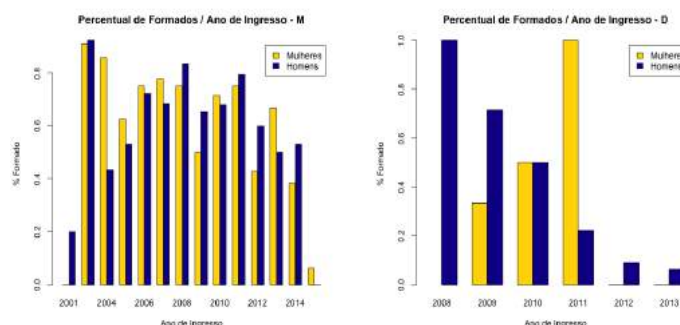


Figura 5. Percentual de Formados em Pós-Graduação em Computação.

3. Considerações Finais - Queremos Crescer Mais!

Claramente o estudo demonstra que, apesar do número de mulheres que ingressam nos cursos de computação do IComp/UFAM ser bem menor do que o número de homens, a

taxa de sucesso dessas mulheres é melhor. Fazendo um paralelo com o fato de que elas escolhem os seus cursos com base na vocação e oportunidade de trabalhar com coisas novas e não pensando principalmente em salários e mercado de trabalho, é possível dizer que elas fazem escolhas mais coerentes em relação às suas afinidades e expectativas.

O aumento das matrículas femininas em 2017 no curso de Ciência da Computação do IComp/UFAM em relação ao dado de que 32% dessas meninas declararam terem sido alcançadas por alguma iniciativa de incentivo à participação feminina nas áreas de TI, mostra a importância de programas como o Cunhantã Digital e o Meninas Digitais para o aumento do quantitativo e do talento feminino nesses cursos.

Os dados e resultados apresentados neste trabalho terão grande relevância na análise de pontos de melhorias e escolhas estratégicas para futuras ações do programa Cunhantã Digital, como: pesquisa com mulheres no mercado de trabalho de Manaus para verificar informações qualitativas sobre o ambiente que estão inseridas bem como políticas de gênero existentes nas empresas e estudos da situação atual das egressas dos cursos do IComp/UFAM.

O fato é que Queremos Crescer Mais! A partir desses resultados, serão elaboradas novas metas com o intuito de melhorar os índices regionais e até mesmo nacionais de participação feminina na área de Computação.

Referências

- Felitti, G. (2015). Especial: conheça mulheres inspiradoras da Área de TI. *Época Negócios*. Disponível em <<http://idgnow.com.br/ti-pessoal/2017/03/08/mulheres-inspiradoras-da-area-de-ti/>>. Acessado em: 20-03-2017.
- Lauschner, T., de Freitas, R., Nakamura, F., and de Aguiar Gomes, L. L. (2016). Cunhantã digital: programa de incentivo a participação de mulheres da região amazônica na computação e áreas afins. In *10o Women in Information Technology (WIT 2016), Porto Alegre, RJ, In: Anais do XXXVI Congresso da Sociedade Brasileira de Computação (CSBC 2016)*.
- Maciel, C. and Bim, S. Programa meninas digitais - ações para divulgar a computação para meninas do ensino médio. In *In: Proceedings of the Computer on the Beach 2016, Florianópolis, SC. pp.327-336. 2016*. Disponível em <<http://www.computeronthebeach.com.br/arquivos-2016/Anais>>
- Monard, M. C. and Fortes, R. P. (2013). Uma visão da participação nos cursos de ciência da computação no brasil. In *VI Latin American Women in Computing Congress (LAWCC 2013), Naiguatá Vargas, Venezuela. 39o Latin American Computing Conference (CLEI 2016)*.
- Programaria (2016). Ser mulher em tech. Site Programaria. Disponível em <<https://www.programaria.org/sermulheremtech/>>. Acessado em: 28-03-2017.
- Schmidt, A. E., Britto, H., and Koehler, M. (2016). Levantamento e análise dos dados da presença feminina discente no curso de bacharelado em sistemas de informação do instituto federal catarinense, campus camboriú. In *10o Women in Information Technology (WIT 2016), Porto Alegre, RJ, In: Anais do XXXVI Congresso da Sociedade Brasileira de Computação (CSBC 2016)*.

Hora do Vestibular: o que as estudantes do ensino médio almejam fazer?

**Fabiola Nakamura¹, Taynah Almeida¹,
Rosiane de Freitas¹, Tanara Lauschner¹**

¹Instituto de Computação – Universidade Federal do Amazonas (IComp/UFAM)

{fabiola,tmas,rosiane,tanara}@icompu.ufam.edu.br

Abstract. *Women represent only 30% of the workforce in technological areas. Those numbers are a challenge but also an opportunity to engage more people in the task of bringing more girls to the area. This paper presents the results of a survey submitted to high school girls during a career event. The girls, voluntary, answered questions about what attract and not attract them to technological areas. The results show that a significant number of girls prefer math during high school but in College they choose Human and Biological areas as careers. They stated that they lack mathematical skills and vocation to pursue the area even though it's a favorite area.*

Resumo. *Mulheres representam apenas 30% da força de trabalho em áreas tecnológicas no cenário mundial, o que se torna um desafio e uma oportunidade para ações de aumento da representatividade feminina. Este trabalho apresenta os resultados de uma pesquisa feita com alunas do Ensino Médio durante um evento de divulgação de carreiras para jovens estudantes secundaristas no ano de 2016. As alunas voluntariamente responderam o que as levaria ou não para a área tecnológica. Resultados mostram que embora as disciplinas da área de exatas façam parte da preferência de muitas alunas durante o ensino médio, as áreas de Humanas e Biológicas acabam atraindo mais candidatas. O principal motivo segundo elas é a falta de habilidades matemáticas e de vocação.*

1. Introdução

Mulheres representam apenas 30% da força de trabalho em áreas tecnológicas, segundo dados de um relatório divulgado pelas onze maiores empresas de tecnologia do mundo [Cheng 2015]. Tal situação é fruto da baixa representatividade de mulheres nas áreas de exatas, que se dá desde muito cedo, inclusive nas atividades escolares. Por outro lado, essa baixa traz reflexos para os indivíduos, em nível mais pessoal, e para a sociedade. Em nível pessoal, as mulheres acabam achando que não tem chance de atuar nessas áreas e, em nível social perde-se um grande potencial econômico ao se negligenciar 50% da força produtiva [Cater-Steel and Cater 2010].

Algumas iniciativas com meninas secundaristas já foram realizadas. O Projeto GETSMART (*Get Everyone to Study Math and Related Technologies*) é um projeto desenvolvido na Universidade de Tampa, na Flórida, que aproxima mulheres da área de TI - que são líderes na indústria, pesquisadoras, recém formadas - e estudantes do ensino superior e ensino médio, formando uma rede de colaboração e apoio, bem como incentivando que mais meninas procurem as áreas de STEM (*Science, Technology, Engineering*

and Math) [Feltri et al. 2010]. Pode-se citar também os vários projetos cancelados pelo Programa Meninas Digitais, uma iniciativa da Sociedade Brasileira de Computação e que visam, prioritariamente, ações que incentivem meninas dos ensinos fundamental e médio a escolherem as áreas de TI [Maciel and Bim].

Blickenstaff fez um estudo sobre um grande número de motivos que podem afastar mulheres da área de STEM, alguns deles o autor julga sem mérito, outros perigosos e há também os bastante complexos. Porém, deixa um questionando sobre se não é o próprio meio científico o responsável pela exclusão. Ao final são propostas algumas mudanças na própria educação em ciências para ajudar no problema [Blickenstaff 2005].

Deste modo, neste trabalho, são apresentados os resultados de uma pesquisa realizada com estudantes de ensino médio na 7a. Edição da Feira Norte do Estudante(FNE), que é em um evento específico para discutir e divulgar carreiras. A FNE reúne em um único ambiente todos os principais agentes das atividades educacionais e de carreira profissional do Amazonas, oferecendo um amplo espaço para que jovens em formação ou em busca de reposicionamento de carreira possam ter acesso gratuito a um número enorme de informações.

A pesquisa realizada visa descobrir o que atrai e o que não atrai estas meninas para a área de exatas, STEM e TI em geral.

2. Feira Norte do Estudante

A Feira Norte do Estudante é um evento realizado anualmente, com foco nos estudantes do ensino médio e que ocorre desde 2010. Atende um público de cerca de trinta mil pessoas durante seus três dias de realização. No evento, os estudantes podem conhecer melhor as Instituições de Ensino Superior(IES) da cidade, bem como conversar com professores e alunos destas instituições e com profissionais das mais diversas áreas. A Feira conta também com palestras vocacionais e técnicas com o intuito de esclarecer dúvidas e apresentar novas perspectivas a estes jovens.

Segundo Censo Escolar do IBGE em 2012 o número de jovens no Ensino Médio em Manaus era de 97.791, sendo 85.687 da rede pública estadual, 1.937 da rede pública federal e 10.167 da rede privada, divididos entre 103, 4 e 51 escolas públicas estaduais, públicas federais e privadas. As escolas públicas federais são todas escolas técnicas[IBGE 2012].

O Programa **Cunhantã Digital** [Lauschner et al. 2016] participou da Feira com palestras e um *stand* onde era possível conversar com as estudantes, apresentar as áreas de TI, mostrar alguns jogos de lógica e pedir que respondessem a um questionário sobre seus interesses em relação à escola e carreira. Como se tratava de uma feira, onde os estudantes querem circular e conhecer várias profissões, o questionário foi escrito de modo a não exigir muito tempo para ser respondido, contendo apenas questões de múltipla escolha. As meninas que voluntariamente chegavam ao espaço do **Cunhantã Digital** na feira, eram convidadas a responder as perguntas de forma anônima. Durante três dias vários estudantes de Ciência da Computação e Sistemas de Informação da Universidade Federal do Amazonas se revezaram de forma voluntária e se dedicaram acima das expectativas no trabalho de apresentar o curso que escolheram às jovens no ensino médio.

3. O que eu quero ser quando crescer?

Para entender o problema da reduzida adesão de estudantes do sexo feminino aos cursos da área de exatas e de tecnologia, foram selecionados apenas os questionários preenchidos por alunas que estavam no terceiro ano do ensino médio em 2016, pois prestariam o vestibular naquele ano. O objetivo era investigar o interesse na área de tecnologia, e as motivações para escolher ou não um curso de graduação nesta área.

A distribuição da idade das entrevistadas é mostrada na Figura 1.

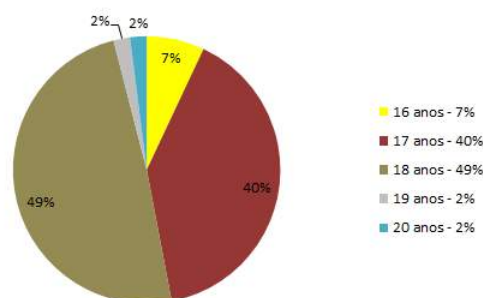


Figura 1. Distribuição das estudantes entrevistadas por idade.

Uma das intenções da pesquisa era identificar se o desinteresse para a área de exatas se refletia nas disciplinas preferidas no ensino médio. Para isso foi formulada a seguinte pergunta: "na escola, seus assuntos preferidos estão ligados a qual área?". As opções eram, (a) Artes, esportes e atividades extracurriculares; (b) Biologia e genética; (c) Ciências humanas, idiomas e (d) Ciências exatas. Os resultados desta pergunta são mostrados no gráfico à esquerda da Figura 2. A área de exatas foi a área com maior preferência, com 33% de preferência.

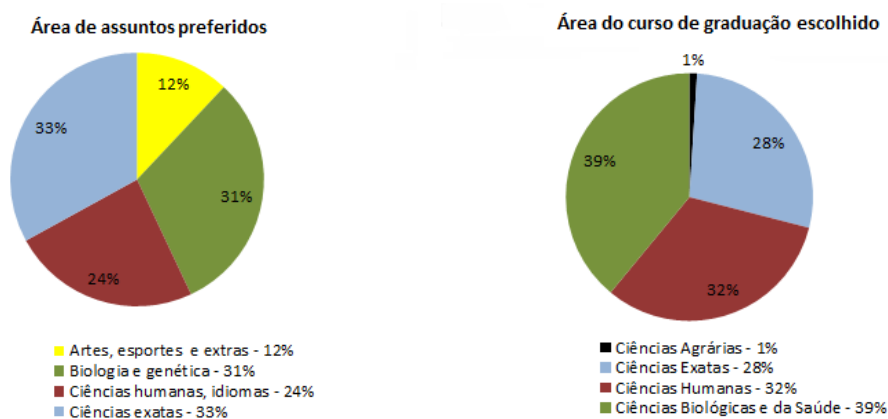


Figura 2. Pesquisa com estudantes do ensino médio sobre a área de preferência das disciplinas e o curso de graduação escolhido.

Em outra questão as alunas respondiam "Em qual área você pretende escolher o seu curso superior?". Com as opções sendo: Ciências Agrárias, Ciências Exatas, Ciências Humanas e Ciências Biológicas e da Saúde. Os resultados são mostrados no gráfico à direita da Figura 2. Comparando-se os dois gráficos da Figura 2 percebe-se que, ainda

que as ciências exatas figurem como a preferência dentre as disciplinas do ensino médio, na hora de escolher um curso superior tal opção passa a figurar em terceiro lugar, atrás das áreas de Biológicas e Saúde e da área de Humanas.

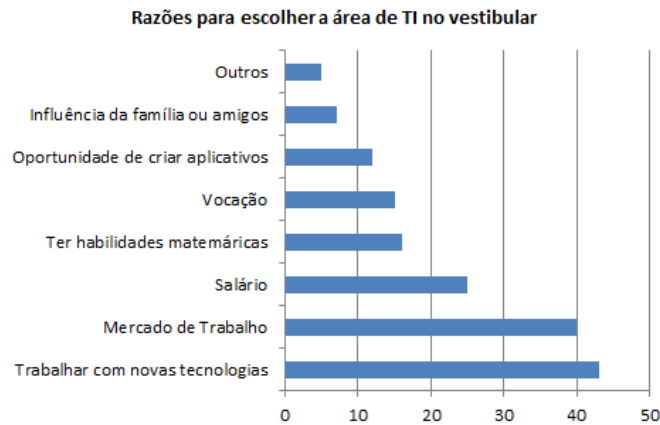


Figura 3. Fatores decisivos na escolha da área de TI no Ensino Superior.

Aprofundando o assunto, as estudantes responderam "Por que escolheriam a área de Tecnologia" e "Por que NÃO escolheriam a área de Tecnologia" como carreira profissional. Nestas perguntas as meninas poderiam optar por até duas respostas. Os resultados são mostrados nas Figuras 3 e 4. A oportunidade de trabalhar com novas tecnologias e o mercado de trabalho são os fatores que as levam a optar por uma área tecnológica. A falta de vocação e o fato de não ter habilidades matemáticas as afastam da área. Os resultados levaram a seguinte conclusão: as meninas gostam da área de exatas, como mostrado na Figura 2 mas acreditam não ter vocação nem habilidades suficientes para a área, como resumido na Figura 4.

Comparando-se as Figuras 3 e 4 nota-se que a influência positiva que recebem da família e amigos é de 7% e a negativa é 25%. O que demonstra que ainda é forte a questão cultural de que as mulheres não devem escolher a área de tecnologia.

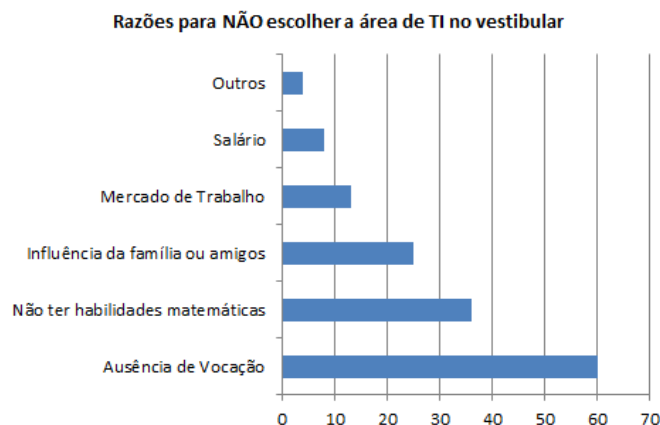


Figura 4. Fatores decisivos que levam a NÃO escolher da área de TI no Ensino Superior.

4. Considerações Finais

Os dados e resultados apresentados neste trabalho terão grande relevância na análise de pontos de melhorias e escolhas estratégicas para futuras ações do programa **Cunhantã Digital**. Constatou-se que, embora as meninas gostem das áreas de exatas nas disciplinas do ensino médio, não se sentem em condições de escolherem um curso superior em tecnologia. Como trabalho futuro pode-se investigar que fatores as levam a não se sentirem preparadas o suficiente ou de não acharem que possuem a vocação para esta área.

Vale ressaltar também a influência negativa da família e amigos o que ressalta a importância de ações que desmistifiquem a imagem de que as carreiras em TI são principalmente para homens. Uma ação futura é realizar palestras com pais de alunas, buscando que eles entendam melhor o que um profissional de computação faz e o que poderá conquistar, para que deixem de exercer um papel negativo na influência das escolhas de suas filhas pelas áreas tecnológicas.

A participação do **Cunhantã Digital** na Feira Norte de Estudantes foi extremamente positiva, não apenas pelo fato de fazer com que muitas meninas que não consideravam escolher a área de tecnologia passassem a pelo menos conhecer o que faz o profissional desta área. Mas também, a fomentar o envolvimento das próprias alunas e alunos das graduações em computação que buscaram, com convicção, convencer as meninas do ensino médio de que fizeram uma boa escolha e que elas deveriam fazer o mesmo. O projeto **Cunhantã Digital** procurará repetir e ampliar este tipo de ação.

Referências

- Blickenstaff, J. C. (2005). Women and science careers: leaky pipeline or gender filter? *Gender and Education*, 17(4):369–386.
- Cater-Steel, A. and Cater, E. (2010). *Women in Engineering, Science and Technology: Education and Career Challenges*. SCOPUS, 1st edition.
- Cheng, R. (2015). Women in tech: The numbers don't add up. <https://www.cnet.com/news/women-in-tech-the-numbers-dont-add-up/>.
- Feltri, N. V., Webb, H. W., and Papp, R. (2010). Getsmart - an academic-industry partnership to encourage female participation in science, technology, engineering and math careers. In *Women in Engineering, Science and Technology: Education and Career Challenges*. SCOPUS, 1st edition.
- IBGE (2012). Cidades@ - ensino - matrículas, docentes e rede escolar. Disponível em: <http://cod.ibge.gov.br/17txu>. Acessado em: 08-05-2017.
- Lauschner, T., de Freitas, R., Nakamura, F., and de Aguiar Gomes, L. L. (2016). Cunhantã digital: programa de incentivo a participação de mulheres da região amazônica na computação e áreas afins. In *10o Women in Information Technology (WIT 2016), Porto Alegre, RJ, In: Anais do XXXVI Congresso da Sociedade Brasileira de Computação (CSBC 2016)*.
- Maciel, C. and Bim, S. Programa meninas digitais - ações para divulgar a computação para meninas do ensino médio. In *Proceedings of the Computer on the Beach 2016, Florianópolis, SC. pp.327-336. 2016*. Disponível em <<http://www.computeronthebeach.com.br/arquivos-2016/Anais>

Pequenas grandes violências: uma análise do preconceito relacionado a gênero

Mariana Cristina Marino¹, Rita C. G. Berardi², Silvia Amelia Bim²

¹Departamento Acadêmico de Linguagem e Comunicação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) – Curitiba – Brasil

²Departamento Acadêmico de Informática (DAINF)
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) – Curitiba – Brasil
mariana.cmarino@gmail.com, {ritaberardi,sabim}@utfpr.edu.br

Abstract. *The objective of the present work is to analyze the results of the public reaction to situations of gender-related prejudice and exemplified in small dramatizations developed by the Revanche Drama Company in the event of International Women's Day organized by the Emíli@s extension project. The results reveal that the male's and female's perception is strongly divergent.*

Resumo. *O objetivo do presente trabalho é analisar os resultados da reação do público frente a situações de preconceito relacionado a gênero e exemplificadas em pequenas dramatizações desenvolvidas pelo grupo de Teatro Revanche em evento do Dia Internacional da Mulher, organizado pelo projeto de extensão Emíli@s. Os resultados revelam que as percepções de pessoas dos gêneros masculinos e femininos são bastante divergentes.*

1. Introdução

Nos últimos anos, no contexto da Computação, diversas ações são realizadas mundialmente para aumentar a participação das mulheres nesta área [Nunes et al. 2016a, 2016b]. No Brasil novas iniciativas, tanto no cenário educacional quanto empresarial, são criadas a cada ano.

O projeto Emíli@s – Armação em Bits é um exemplo destas iniciativas, desenvolvido como extensão na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), campus Curitiba. O principal objetivo do projeto é apresentar a Computação para meninas, estudantes do ensino médio, de modo que elas possam considerar a área como uma possibilidade de atuação profissional. Busca-se alcançar este objetivo através de mesas redondas, palestras sobre temas diversos da Computação e áreas afins, relatos de vida e motivacionais, encontros e oficinas.

O grupo de teatro Revanche existe na UTFPR-Curitiba como um projeto de extensão desde 2011. Sempre com a proposta de desenvolver textos sociais e políticos, o Revanche já produziu, em seu repertório, 5 peças. O projeto é fruto de uma disciplina optativa do curso de Licenciatura em Letras e atualmente o grupo conta com a participação de estudantes egressos(as) e licenciandos(as) da área e estudantes de Design, Comunicação Institucional e Arquitetura.

Neste artigo relata-se a primeira atividade em parceria entre estes dois projetos de extensão.

2. Metodologia

A partir de nove cenas curtas¹, o grupo de teatro Revanche teve o intuito de denunciar casos baseados em relatos reais de violência, muitas vezes silenciosa, enfrentados cotidianamente pelas mulheres. As cenas foram apresentadas como parte da programação em alusão ao Dia Internacional da Mulher em 2017. No momento da apresentação, executada por 7 dos 13 atores do grupo de teatro, estavam presentes aproximadamente 40 espectadores(as), convidados(as) de todos os cursos e departamentos da UTFPR-Curitiba.

Para cada pessoa do público presente foi entregue um formulário para avaliarem as nove cenas. Neste formulário consta uma tabela, em que para cada cena numerada são dadas as opções de frequência: nunca, raramente, às vezes, frequente e muito frequente. Logo após cada rápida dramatização (em média de 2 a 3 minutos), o público foi instruído a responder marcando com um “x” com que frequência se dá a situação recém-representada. O formulário também pede que a pessoa autodeclare seu gênero para que possibilitasse uma análise de reação quanto a este fator.

□ mote das pequenas dramatizações durante o evento foi, essencialmente, desdobrar uma discussão sobre a temática de o assédio moral estar relacionado ao gênero feminino principalmente no ambiente profissional. Este tema é relevante não somente no âmbito acadêmico, mas também social, uma vez que o Brasil, segundo dados da OMS de 2013, reiterados no Mapa da Violência de 2015², está classificado como o quinto país mais violento para mulheres no mundo. Ademais, o objetivo estendeu-se igualmente em levantar questões humanísticas acerca das relações interpessoais baseadas, em sua grande maioria, nos discursos hegemônicos advindos da sociedade estruturalmente patriarcal e heteronormativa. Através desta atividade espera-se possibilitar ao(à) espectador(a), a partir do conceito do Teatro Didático³ [Brecht 1978], assimilar conteúdos de natureza da violência subjetiva, como o assédio moral, explicitado nas pequenas dramatizações.

Na próxima seção apresentamos os resultados gerados a partir das respostas fornecidas pelos(as) participantes do evento.

3. Análise e Discussão dos resultados

Os formulários foram respondidos por 32 pessoas: 6 do gênero masculino, 21 do gênero feminino e 5 optaram por não responder a essa informação. É interessante notar que a maioria do público do evento se autodeclarou do gênero feminino. O fato surpreende, pois, a instituição de ensino tem mais estudantes do gênero masculino matriculados⁴. No total foram representadas 9 cenas, porém, aqui discutimos alguns resultados que se destacam, principalmente quanto à reação discrepante entre o público declarado masculino e à do público declarado feminino.

¹ O texto integral produzido para essa apresentação pode ser encontrado em: <http://bit.ly/dim17cenas>

² http://www.mapadaviolencia.org.br/pdf2015/MapaViolencia_2015_mulheres.pdf

³ Teatro Didático foi desenvolvido por Bertolt Brecht, na Alemanha, entre os anos de 1928 e 1932. As peças teatrais tinham teor político e social e o trabalho consistia em apresentá-las em fábricas e escolas sem preparação prévia dos atores

⁴ Em 2017.1, por exemplo, em Sistemas de Informação: 298 homens e 55 mulheres matriculadas(os). Engenharia de Computação: 372 homens e 48 mulheres matriculadas(os). Conforme dados informados pelo coordenador do curso de Sistemas de Informação em 31/03/2017.

Na Cena 1 um homem e uma mulher, de currículos igualmente importantes, são apresentados em uma reunião de trabalho. Entretanto, o currículo do homem é enfatizado e o da mulher é totalmente ignorado. Conforme mostra a Figura 1, a percepção de frequência desta situação pelo público autodeclarado masculino é, em sua maioria, retratada como se *nunca* ocorresse. Diferentemente do público autodeclarado feminino, em que a percepção é bem variada, porém apenas 14,3% acredita que *nunca* ocorre. Com esta discrepância podemos observar como é comum para as pessoas do gênero masculino não perceberem a ocorrência desse tipo de situação, retomando e reiterando conceitos do sociólogo francês Pierre Bourdieu (1989) sobre *poder simbólico*, um sistema cultural, histórico e linguístico que, a partir de diferentes linguagens, privilegia a figura masculina e o discurso patriarcal que domina as mais diversas esferas do social.

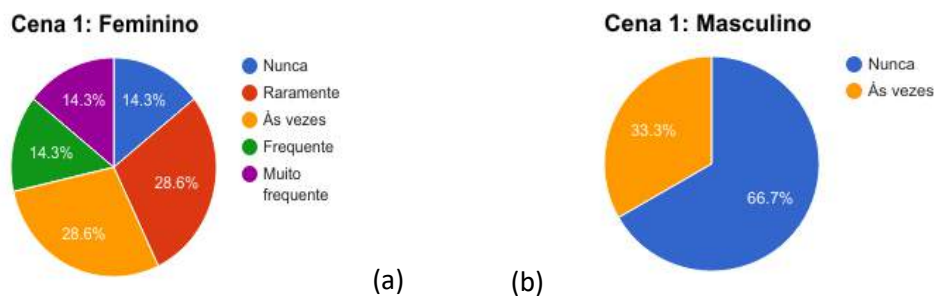


Figura 1: Reações do público feminino (a) e masculino (b) à Cena 1.

A Cena 2 relata uma avaliação docente pelo discente onde o uso de maquiagem e as roupas utilizadas pela professora se tornam alvo de crítica, enquanto que a avaliação deveria ter o foco na prática docente da professora e não na sua aparência. Esta expectativa retrata a valorização excessiva da profissional mulher de acordo com sua aparência e não conforme o seu currículo, como relatado na Cena 1. A Figura 2 mostra novamente a discrepância de percepção por parte do público masculino tendo declarado, em sua maioria, como se *nunca* ocorresse, e mesmo quando sinalizam que ocorre, ainda é de forma *rara*.

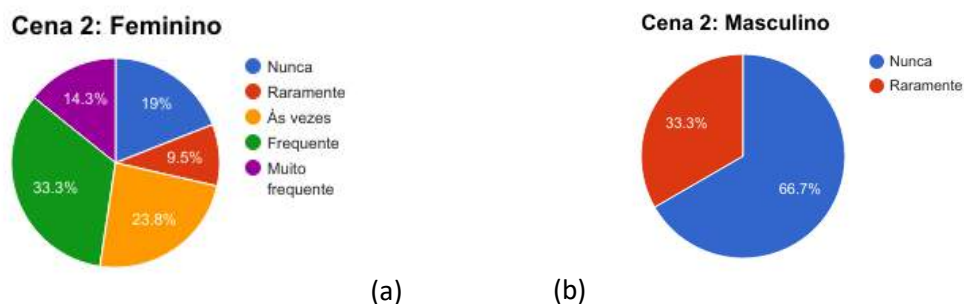


Figura 2: Reações do público feminino (a) e masculino (b) à Cena 2.

A Cena 4 trata do preconceito em casa com relação ao interesse de mulheres por áreas culturalmente consideradas masculinas. Essa é uma questão relevante, principalmente no contexto do projeto Emíli@s pois, para atrair meninas para a área de Computação, também é importante perceber os fatores que limitam este interesse. A percepção do público feminino foi, em sua maioria *muito frequente*, enquanto que para o público masculino ficou dividido em *raramente* e *frequente*.

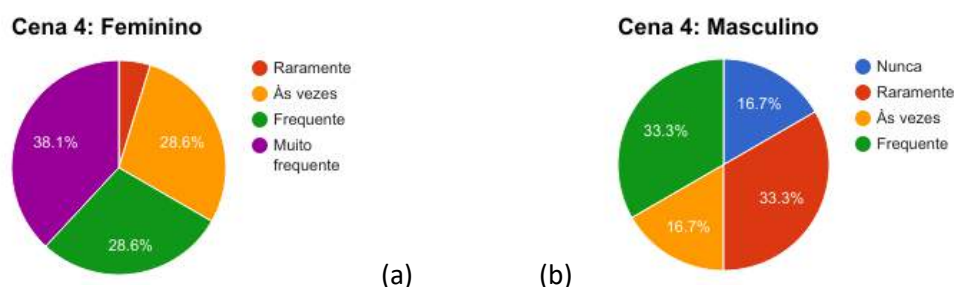


Figura 3: Reações do público feminino (a) e masculino (b) à Cena 4.

Com exceção da Cena 6, para todas as demais cenas o público autodeclarado do gênero masculino não assinalou a opção *muito frequentemente*. Entretanto, vale ressaltar que para a Cena 6 apenas 1 pessoa (de 6) do gênero masculino marcou esta alternativa, enquanto 13 (de 21) do gênero feminino marcaram esta opção.

Nos casos dramatizados, o papel da mulher como sendo subordinada à figura masculina e não assumindo papéis de destaque e liderança no que tange à área profissional é naturalizado, configurando, portanto, ao comparar as respostas do gênero feminino e masculino, uma reiteração de estereótipo do gênero feminino na visão do masculino.

4. Considerações finais

Esta primeira experiência já revela que a percepção das situações de preconceito de gênero é muito distinta para o público feminino e o público masculino. O fato de o evento ter maior participação do público feminino, embora tenha sido realizado em uma instituição cuja maioria do corpo discente é do gênero masculino, já indica que um evento que tem referência às mulheres não atrai o público masculino.

As reações do público masculino nos mostra que as ações de conscientização com relação a preconceito devem buscar mais a sensibilização do público masculino e externalizando como essas situações podem ser tratadas. Além disto, iniciativas como essa, de representar as cenas de preconceito por meio de Teatro Didático, podem ser uma forma lúdica de aproximação da realidade ao público alvo.

5. Referências

- BOURDIEU, P. (1989) O poder simbólico. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil S.A, 1989.
- BRECHT, B. (1978) Estudos sobre teatro. Trad. F. P. Brandão. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1978.
- NUNES, M.A.S.N., LOUZADA, C., SALGUEIRO, E., ANDRADE, B., LIMA, P.S., MONTEIRO, R. (2016) Mapeamento de iniciativas brasileiras que fomentam a entrada de mulheres na computação. In.: Anais do XXXVI Congresso da Sociedade

Brasileira de Computação. X WIT - *Women in Information Technology*. pp. 2697 – 2701.

NUNES, M.A.S.N., LOUZADA, C., SALGUEIRO, E., ANDRADE, B., LIMA, P.S., MONTEIRO, R. (2016) Mapeamento de iniciativas estrangeiras que fomentam a entrada de mulheres na computação. In.: Anais do XXXVI Congresso da Sociedade Brasileira de Computação. X WIT - *Women in Information Technology*. pp. 2692 – 2696.

Análise da Participação Feminina nos Cursos de Licenciatura em Computação e Sistemas de Informação

Niellen N. M. de Souza¹, Ana Carina G. de Lima¹,
Decíola F. de Sousa¹

¹ Instituto Ciberespacial – Universidade Federal Rural da Amazônia(UFRA)
Avenida Presidente Tancredo Neves, 2501 – Belém-Pará

{aninhaufra, menescalniellen}@gmail.com, deciola.sousa@ufra.edu.br

Abstract. *Women have been essential in building the history of computing. However, most of the accomplishments were excluded throughout history. Although female participation and enrollment of women in courses related to technology has increased in recent years, when compared, it is observed that the number of females is definitely below the number of male participants in the field. This article aims to open a brief discussion about the participation of women in society and to make a statistical analysis of the number of women who are entering the Computing and Information System degree courses.*

Resumo. *As mulheres foram essenciais na construção da história da computação, no entanto foram ao longo do processo excluídas dos relatos históricos. Apesar da participação feminina na sociedade ter aumentado nos últimos anos, assim como número de matrículas de mulheres nos cursos relacionados a áreas da tecnologia, ainda se observa que o número está abaixo da média de ingressantes homens, quando comparado. Este artigo visa abrir uma breve discussão sobre a participação das mulheres na sociedade e fazer uma análise estatística do número de mulheres que estão ingressando nos cursos de Licenciatura em Computação e Sistemas de Informação.*

1. Introdução

As mulheres sempre estiveram presentes na construção científica das tecnologias, da computação, da matemática e engenharias, mas foram apagadas dos registros históricos, dos relatos e da história da ciência. Mulheres como Ada Lovelace, reconhecida mundialmente como a criadora do primeiro programa de computador da história, até pouco tempo permaneciam num quase anonimato. Tinham seus feitos questionados e praticamente desacreditados pelos grandes escritores.

Quem é mulher na área de Tecnologia da Informação (TI), sabe da obviedade de que não existe diferença em termos de potenciais e capacidades intelectuais apenas por questão de gênero. Existem bons e maus profissionais e para isso não importa o gênero. Uma mulher pode ser femininamente inteligente e competente na área de informática. Um homem pode não se sair tão bem assim [Oliveira et al. 2016].

Importantes avanços estão sendo feitos para a inclusão de mulheres na computação, o próprio evento do *Women in Information Technology (WIT)*¹ é um deles, pois o evento abre um indispensável espaço para discussões nas questões de gênero,

¹Evento organizado anualmente pelo Congresso da Sociedade Brasileira da Computação.

permite também o acesso a informações das construções históricas que a mulher tem feito durante sua trajetória, além de reforçar a busca pela equidade de oportunidades.

Este trabalho visa demonstrar de forma resumida o ingresso e a participação das mulheres no curso de Licenciatura em Computação e Bacharelado em Sistemas de Informação, na Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA) na cidade de Belém do Pará. No que se concentra o desenvolvimento desse trabalho, o mesmo segue organizado da seguinte forma: apresentamos na Seção 2 sobre mulheres na computação e na sociedade; na Seção 3 sobre o quantitativo da participação de mulheres na computação, na Seção 4 os resultados dos dados analisados na seção anterior; por fim, na Seção 5 as nossas considerações finais.

2. Mulheres na Sociedade e na Computação

Apesar do número de mulheres nas universidades ser crescente, observou-se que elas escolhiam predominantemente áreas relacionadas à educação, saúde, artes e não as engenharias, matemáticas e também, nosso objeto de estudo, a computação. O mais preocupante, segundo [Velho et al. 2012] é que as mulheres quando não escolhem as áreas de exatas o fazem de forma inconsciente, e este ainda é um problema recorrente. Para as autoras isto é um problema que vem das escolas, das etapas primárias do ensino, onde os meninos são incentivados a gostar de matemática e física e as meninas não.

Para que estas mulheres possam ser atuantes no mercado de trabalho, promovendo a igualdade social, é necessário que seja garantido o acesso e a permanência destas nas universidades, principalmente nos cursos relacionados a área da computação. O relatório com dados do Censo 2015, cedido pelo INEP e SBC², demonstra que no cenário nacional é possível observar que a entrada destas mulheres nas universidades (nos cursos de Computação e afins) foi mais significativa nos últimos 8 anos, mas o número de concluintes ainda permanece abaixo da média.

Embora pareça animador o número de mulheres ter crescido no mercado de trabalho, nas universidades e até mesmo na política, este ainda é um fator novo para a sociedade que precisa compreender o papel da mulher e compreender que seu potencial é idêntico ao masculino [Oliveira et al. 2016].

3. Quantitativo da Participação Feminina em Computação

Os cursos noturnos da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Campus Sede em Belém do Pará, são Licenciatura em Computação e Bacharelado em Sistemas de Informações, sendo estes criados em 2009. Como relatado na Seção 2, a participação feminina no curso de computação possui um percentual baixo, o índice é ainda menor quando concluem o curso.

A fim de discutir sobre o assunto em relação a esta Universidade, nesta seção será apresentado um levantamento sobre a quantidade de ingressantes e formandos (Seção 3.1) e o questionário sobre a participação feminina nos cursos de computação (Seção 3.2).

²Disponível em: <http://www.sbc.org.br/documentos-da-sbc/summary/133-estatisticas/1074-educacao-superior-em-computacao-estatisticas-2015>

3.1. Quantidade de Ingressantes e Formados

Este estudo foi realizado a partir dos dados obtidos na relação de discentes dos dois cursos de TI da UFRA, o objetivo foi realizar o levantamento da quantidade de ingressantes e formados nesta área.

Os dados foram coletados do Sistema Integrado de Gestão de Atividades Acadêmicas (SIGAA) e organizados nas seguintes tabelas: na Tabela 1 é demonstrado o quantitativo de Ingressantes de 2009 a 2016 e na Tabela 2 o quantitativo de formados de 2013 a 2016, dos cursos de Licenciatura em Computação e Bacharelado em Sistemas de Informações.

Tabela 1. Ingressantes dos Cursos de TI da UFRA

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Total
LC - Mulheres	16	24	16	10	17	16	10	5	114
LC - Homens	32	26	34	37	32	40	44	42	287
BSI - Mulheres	9	17	14	8	12	15	5	6	86
BSI - Homens	39	31	35	42	38	43	49	41	318

Tabela 2. Formados dos Cursos de TI da UFRA

	2013	2014	2015	2016	Total
LC - Mulheres	13	12	2	1	28
LC - Homens	17	15	8	4	44
BSI - Mulheres	5	5	4	13	27
BSI - Homens	9	8	20	12	49

3.2. Questionário de Participação Feminina

O questionário foi aplicado para analisar a participação de mulheres nos cursos de computação, sendo este repassado para 45 discentes das 8 turmas ativas de 2013 a 2016. O objetivo era fazer o levantamento de informações essenciais para análise de escolha de curso, motivações, estígios, preconceito, dentre outros assuntos da mesma relevância.

4. Resultados

Nos cursos de TI da UFRA, o número de ingressantes do sexo masculino é superior ao de mulheres, sendo o número de discentes mulheres maior em Licenciatura em Computação (Tabela 1). Já o número de formados tem uma quantidade quase idêntica para os dois gêneros, mesmo assim o número de mulheres formandas é menor (Tabela 2). Um fator animador a ser observado é que a quantidade de ingressantes mulheres nos cursos é quase proporcional ao de formadas, o que pode demonstrar que estas mulheres estão ingressando e conseguindo ter condições de concluir o curso. Desmonstra também o quanto o cenário tem mudado para as mulheres, quanto veem ocupando os espaços na universidade.

Em Licenciatura em Computação (LC), 27 discentes responderam o questionário, já em Bacharelado em Sistemas de Informação (BSI), com o público respondente menor, apenas 18 discentes responderam. Analisando os dois cursos, percebemos que 13,33% de

alunas pertencem a turmas anteriores a 2013, das turmas de 2013 e 2014 a quantidade de mulheres é superior em comparação as outras turmas.

Destacamos alguns pontos importantes para a nossa análise, de modo geral, 57,78% afirmaram que o curso foi escolhido como primeira opção. Em todas as turmas de LC, a faixa etária é superior a 19, com exceção da turma de 2016, composta apenas por alunas de idade superior a 30. Já em BSI, a faixa etária é diferente, em 2013, todas estão na faixa de 22 a 25 anos, nas demais turmas a faixa etária é superior a 19. As alunas de LC, entre 19 a 25 anos, são na maioria solteiras e sem filhos, acima de 26 anos, são solteiras, casadas ou possuem outro tipo de estado civil, dentre essas, apenas 8 mulheres têm de 1 a 2 filhos. Em BSI, a maioria são solteiras e 8 têm 1 ou 3 filhos.

Sobre se há algo que possa atrapalhar a formação no curso, obtivemos 46,67% de respostas “Sim”, os principais motivos foram: greve, disciplinas pendentes, dificuldade nas disciplinas de programação, dificuldade em conseguir estágio, Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) incompleto, trabalho, problemas pessoais e preconceito. Inclusive, 53,33% das discentes de LC e BSI confirmaram ter sofrido algum tipo de preconceito por ter optado esta área (Figura 1).

Destacamos nesta pesquisa, a quantidade de mulheres que trabalham e/ou estagiam. Em LC, apenas 13 trabalham em diferentes áreas (saúde, TI, educação e área financeira), de 14 mulheres que não trabalham, 9 fazem estágio em diversas áreas de TI. Em BSI, 12 trabalham em diversas áreas (vendas, saúde, TI, administração, educação), de 6 mulheres que não trabalham, todas fazem estágio em áreas de TI. Dentre as mulheres que trabalham, a maioria delas fazem estágio em Manutenção e Suporte de Computadores. De modo geral, as alunas estagiam na área de TI, principalmente em Manutenção e Suporte de Computadores.

Sobre a participação em um ou mais Programas de Extensão e/ou Ensino ofertados pela Universidade, de 27 discentes de LC, 21 participam do PIBID, 6 do Sementes Digitais, os dois programas são voltados ao ensino de Computação, já em BSI, apenas uma aluna participou de algum dos Programas. Quanto a composição e aprovação de artigos, apenas uma discente de LC teve artigo aprovado, e 2 alunas de BSI escreveram artigos, mais apenas de uma foi aprovado. O número parcial de mulheres de LC e BSI, fizeram algum curso para formação complementar, sendo principalmente voltado para Programação e Manutenção e Suporte de Computadores. 92,59% das discentes de LC têm interesse em estudar uma pós-graduação, enquanto que as de BSI, todas pretendem estudar ao completar a graduação.

De acordo com a Figura 1, de modo geral, 57,78% das mulheres tinham os cursos de TI como primeiras opções de escolha para ingresso na universidade, que demonstra que elas tinham interesse em ingressar nesta área, embora ainda seja um número pequeno dentro de um universo de 100%. Quando questionadas sobre existência de fatores que as pudessem impedir de continuar o curso, 46,67% delas acreditam haver inúmeros. Como os cursos são noturnos surgiu então a necessidade de questionar se estas mulheres já estão inseridas no mercado de trabalho, mesmo que não seja o da área em que estudam, e 55,56% respondeu que “Sim”. Já quanto ao estágio, 64,44% respondeu que estagia na área de TI, este número é muito animador, pois estas mulheres estão tendo a oportunidade de obter alguma experiência no mercado de trabalho de TI, aumentando inclusive a

representatividade de mulheres na área.

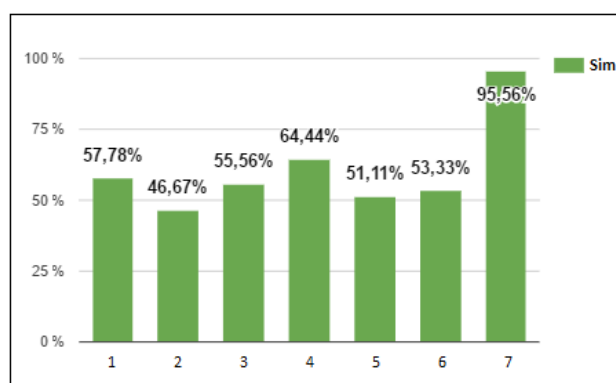


Figura 1. Principais resultados do questionário

Quando perguntadas sobre participação em programas de ensino e/ou extensão, o número foi de 51,11%, o que é positivo porque mais da metade estão conseguindo ter acesso a estes programas. Quando questionadas sobre um problema que é muito comum na área de TI, o preconceito, 53,33% respondeu que já sofreu. Um número muito animador foi o interesse de fazer alguma pós-graduação, este número foi de 95,56% das mulheres.

5. Considerações Finais

O artigo apresentou uma análise da participação das mulheres em dois cursos da área de TI de uma Universidade. A pesquisa possibilitou conhecer o perfil das discentes em ambos os cursos e a diferença na escolha do curso. Evidenciando que a Licenciatura atrai mais mulheres que o curso de Bacharelado. Percebeu-se que a participação das mulheres nos dois cursos vem diminuindo, o que é preocupante, incentivando o investimento em políticas públicas para motivar a participação feminina em curso superior na área de TI.

Os desafios para as mulheres na área de TI são grandes, porém motivantes, pois a maioria pretende continuar os estudos através de uma pós-graduação. O que entristece é que poucas tentaram escrever artigos científicos durante a graduação. O *Women in Information Technology* (WIT) é uma excelente oportunidade para se discutir e analisar a participação das mulheres na área de TI. Como trabalho futuro, pretende-se analisar a participação das discentes graduadas dos dois cursos da Instituição no mercado de trabalho.

Referências

- Oliveira, A. C., Oliveira, K., Alves, E., Tassyany, M., Cabral, Y., Sousa, T., and Batista, F. (2016). Você é o melhor menino desse grupo! *In Anais do X WIT Women in Information Technology*.
- Velho, L., León, E., et al. (2012). A construção social da produção científica por mulheres. *cadernos pagu*.

Meninas Digitais - Regional Bahia: os primeiros bits

Juliana Maria Oliveira dos Santos, Ana Carolina Cerqueira Ferreira, Allan Thales Ramos de Oliveira, Débora Abdalla Santos, Ecivaldo de Souza Matos

Departamento de Ciência da Computação – Universidade Federal da Bahia (UFBA)
Grupo de Pesquisa e Extensão em Informática, Educação e Sociedade – Onda Digital
Av. Adhemar de Barros, s/n – Ondina – CEP 40.170-110 – Salvador – BA – Brasil

{julyms.85, cf.anacarolina}@gmail.com, {allan.thales, abdalla, ecivaldo}@ufba.br

***Abstract.** This paper presents the first steps of the project “Meninas Digitais - Regional Bahia” (Digital Girls - Chapter Bahia). It is presented some developed actions that can be applied by other organizations to further popularization of Computer Science among women. These strategies have regarded activities for men, in order to show that Computer Science must be for all, without gender distinction and without limitations of topics or disciplines.*

***Resumo.** Este artigo apresenta os primeiros passos do Projeto Meninas Digitais – Regional Bahia, apontando ações desenvolvidas que podem ser adotadas por outras organizações e instituições para popularização da Computação entre as mulheres, considerando também a participação dos homens, de modo a mostrar que a Computação deveria ser um espaço para todos, sem distinção de gênero, raça, etnia e sem limitações de disciplinas e/ou temas.*

1. Introdução

O Programa Meninas Digitais, chancelado pela Sociedade Brasileira de Computação (SBC), propõe ações voltadas a alunas do Ensino Médio/Tecnológico ou nos anos finais do Ensino Fundamental, para que conheçam a área de Informática, Computação e das Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC), de forma a motivá-las a seguirem carreiras nessas áreas. O Programa aglutina iniciativas de outras instituições que passam a atuar como parceiras e multiplicadoras da proposta, de forma a disseminar esta ideia no território nacional [Figueiredo, Neto e Maciel, 2016].

Em maio de 2016, foi implantado o projeto de extensão Meninas Digitais – Regional Bahia. Isso ocorreu no contexto da Universidade Federal da Bahia onde a taxa de mulheres nos cursos de graduação e pós-graduação em Computação é bastante reduzida, aproximando-se de 10% no Bacharelado em Ciência da Computação, 10% no Bacharelado em Engenharia da Computação, 16,7% na Licenciatura em Computação, 17,8% no Bacharelado em Sistemas de Informação, 22,4% para o Mestrado em Ciência da Computação e 25% no Doutorado em Ciência da Computação.

Este artigo apresenta os primeiros passos do Projeto Meninas Digitais – Regional Bahia, sua metodologia e experiência, mostrando as ações desenvolvidas que podem ser adotadas por outras organizações e instituições para popularização da área de

exatas, mais especificamente a Informática e Computação, para as mulheres.

2. Concepção e Objetivos do Projeto

O projeto nasceu como uma ação de extensão vinculada ao Programa Onda Digital (POD), um programa de extensão do Departamento de Ciência da Computação (DCC) da Universidade Federal da Bahia. Metodologicamente, escolhemos implantar o projeto em associação com o POD pelo fato de este já ser amplamente conhecido na comunidade acadêmica da UFBA e na cidade de Salvador/BA e região metropolitana. Isso permitiria sua articulação com outras instituições e coletivos. Isto porque espera-se nuclear diferentes propostas de fomento à participação feminina em Computação em uma regional, favorecendo a capilaridade do Programa Meninas Digitais no estado da Bahia.

Acredita-se que para incentivar a reflexão e mostrar que a Informática e Computação é para *todas e todos*, algumas ações afirmativas poderão ser necessárias, pois quando estamos desenvolvendo uma ação com base no princípio da equidade. Ainda que um de seus objetivos seja aumentar a participação de mulheres na computação, o projeto não tem o intuito de realizar apenas ações exclusivas para elas, mas fomentar o debate incluindo os homens, para que eles reflitam sobre o seu papel no processo de inclusão/exclusão de mulheres na IC. Isto por considerar que a IC é um espaço para todas e todos, sem distinção de gênero, raça/etnia, sem limitações de disciplinas e/ou temas.

Vale destacar que mesmo sendo concebido como um projeto de extensão, no projeto Meninas Digitais – Regional Bahia articula-se o ensino e pesquisa, por meio do estímulo à realização de trabalhos de conclusão de curso, projetos de pesquisa, dissertações de mestrado e teses de doutorado que abordam essa temática.

As ações desenvolvidas adotam os seguintes princípios:

- **incentivo pelo exemplo:** atividades e ações sendo apresentadas e desenvolvidas por mulheres;
- **incentivo pela discussão:** realização de ações como mesas redondas, palestras, dinâmicas, apresentação de vídeos ou dinâmica do preconceito¹ com o objetivo de trazer à tona a reflexão e discussão sobre a temática;
- **incentivo pela implementação:** atividades nas quais as participantes são motivados a desenvolver, implementar e/ou praticar conceitos abordados no estudo da computação.

3. Os Primeiros Bits

Dentre as ações já realizadas com foco na participação de mulheres na IC destacam-se:

- **Mesa Redonda “Meninas Digitais: para além dos estereótipos (de gênero, raciais e étnicos) nas práticas sociais e educacionais”:** realizada no workshop anual do POD, em 2015, a mesa abordou a violação de direitos humanos e suas implicações, principalmente no tocante às relações raciais e de gênero, nos meios digitais e trouxe à tona a discussão sobre as influências dos estereótipos de gênero, raciais e étnicos nos ambientes educacionais e nas relações de trabalho, com foco na

¹Reafirmar preconceitos para a partir da discussão desconstruir conceitos estabelecidos.

participação de mulheres nas ciências e com a apresentação de iniciativas de incentivo à participação de mulheres em cursos de Computação. Tivemos quatro convidadas que também falaram sobre seu dia a dia como uma mulher atuante na tecnologia.

- **Workshop no Dia do Estudante:** realizada em uma escola estadual para alunas e alunos do último ano do Ensino Médio, no dia do estudante no ano de 2016. Foram realizadas atividades diversas como a oficina envolvendo conceitos de ordenação e da tabela periódica (química) e a oficina sobre lixo eletrônico dividida em duas partes: teórica (riscos, formas de descarte adequado e legislação vigente) e prática (mini-oficina de condicionamento e manutenção de computadores). Além disso, tivemos uma oficina de profissões da área de computação onde mulheres que já concluíram ou estavam cursando cursos de graduação em computação e tecnologia explicaram sobre seus cursos e sobre a carreira de mulheres na computação.
- **Minicurso “Desenvolvendo Aplicativos para Android com o App Inventor”:** atividade integrante do workshop anual do POD no ano de 2016. Foi uma oficina com público misto (sendo 90% mulheres), onde as e os participantes foram apresentada(o)s aos conceitos básicos da ferramenta para o desenvolvimento de aplicativos e desenvolveram um aplicativo de *Game Quiz*, que utilizou recursos de lógica de programação, eventos de interface e comunicação com recursos de mídia do dispositivo.
- **Mesa Redonda “A participação feminina na tecnologia”:** realizada no workshop anual do POD, em 2016. Esta mesa teve como objetivo ampliar o debate sobre a participação das mulheres no setor de tecnologia, trazendo três convidadas para compartilhar experiências pessoais e de projetos de incentivo à participação de mulheres na computação e o ciberfeminismo, apontando os entraves, desafios, influências, estratégias e resultados.
- **Lançamento da *fanpage* do projeto de extensão:** realizado no ano de 2017 com o objetivo de divulgar as ações realizadas, difundir a problemática e aglutinar pessoas com interesse no tema e ações - <http://www.facebook.com/meninasdigitaisBA>.
- **Realização de Cursos de Iniciação à Programação de Computadores (CIProg) com turmas exclusivas para mulheres:** as turmas exclusivas para mulheres têm o intuito de atrair esse o público ao universo da Informática e Computação.

Dentre as ações em andamento/planejamento e futuras podemos citar os seguintes eixos:

- **Manual de Identidade Visual do Projeto**
- **Divulgação do Projeto**
 - carta de Apresentação, cartão de Visita e *folder* para potenciais parceiros e patrocinadores;
 - apoio a projetos de outras instituições baianas;
 - participação em palestras e eventos;
 - mapeamento das iniciativas baianas similares ou próximas.
- **Acompanhamento e Avaliação das Ações de Extensão**
 - elaboração de estratégias de investigação das causas de evasão nos cursos;
 - realização de grupos focais com as participantes das ações de extensão promovidas;
 - realização de grupos de avaliação das ações com as pessoas que atuaram como

- instrutoras, monitoras e coordenadoras;
- acompanhamento das alunas egressas dos cursos de extensão.
- **Realização de Ações**
 - manutenção de contato com escolas, universidades, empresas e similares para realização de ações formativas, de divulgação de cursos da AIC, acolhimento de calouras, promoção de visitas técnicas;
 - participação em encontros estudantis, feiras de profissões, semana de ciência e tecnologia e eventos similares onde possamos estar próximos de crianças e jovens;
 - realização de workshop anual do projeto.
- **Desenvolvimento de Materiais**
 - desenvolvimento de cadernos de oficinas com opções diversas de temas e durações para aplicação em diversos ambientes;
 - gamificação do ambiente virtual de aprendizagem Moodle, utilizado nos cursos de extensão regulares (carga horária mínima de 30 horas), com medalhas relacionadas à mulheres na história da computação em níveis local, nacional, regional e global.
- **Captação de Recursos**
 - mapeamento das empresas e organizações do estado e do país que fomentam a participação de mulheres na tecnologia;
 - elaboração de plano de patrocínio, incluindo modelo de carta de patrocínio, categorias e benefícios do patrocinador;
 - acompanhamento de submissão de propostas de ações junto a editais de fomento.

4. Considerações Finais

Esperamos que a experiência e metodologia do Projeto Meninas Digitais – Regional Bahia possa estimular outras organizações e instituições para popularização da área de exatas, mais especificamente a de Informática e Computação, para as mulheres. A boa aceitação das ações, repercussão na mídia e grande procura por cursos e atividades voltadas para mulheres apontam positivamente para continuidade e expansão das ações.

5. Agradecimentos

Agradecemos às/aos estudantes que colaboraram, colaboram e abraçam esta causa. Estendemos nossos agradecimentos à Pró-Reitoria de Extensão Universitária da UFBA e ao MEC, por meio do Edital Proext/MEC/SESu 2015, pelo apoio financeiro ao nascimento deste projeto.

Referência

Figueiredo, K. S., Neto, P. C. S., Maciel, C. (2016) "Meninas Digitais Regional Mato Grosso: Práticas Motivacionais no Ensino Médio para a Equidade de Gêneros nas Carreiras e Cursos de Computação e Tecnologias". X Women in Information Technology (WIT), Porto Alegre. In: *Anais do XXXVI Congresso da Sociedade Brasileira de Computação*. Porto Alegre, SBC. p. 2702-2705.

Sobre a trajetória de professoras negras na pós-graduação em Ciência da Computação: alguns resultados preliminares

Ecivaldo S. Matos, Emilayne F. Corlett, Ana Carolina C. Ferreira, Juliana Maria Oliveira dos Santos

Departamento de Ciência da Computação – Universidade Federal da Bahia (UFBA)
40.170-110 – Salvador – BA – Brasil

{ecivaldo, emilayne.corlett}@ufba.br, {anacarolina,
joliveira}@dcc.ufba.br

Abstract. *This paper presents partial results about the trajectory of black-women professors of graduate programs in Computer Science in Brazil. The data were collected by questionnaire and interview. It was identified qualitative aspects that characterize these trajectories and that may encourage girls and women to pursue a career in Computer Science.*

Resumo. *Este artigo apresenta resultados parciais sobre a trajetória de mulheres negras docentes da pós-graduação em Ciência da Computação no Brasil. Por meio de questionário e entrevista, foram identificados elementos qualitativos caracterizadores dessas trajetórias e que podem incentivar meninas e mulheres a seguir carreira na Ciência da Computação.*

1. Introdução

Ainda não há estudos conclusivos sobre a participação de negros e negras no corpo docente de programas de pós-graduação em Ciência da Computação. Todavia, estudos sérios têm sido realizados para discutir a presença, a atuação e os perfis de mulheres atuantes na Ciência da Computação, como os realizados por Oliveira, Moro e Prates (2014).

Ainda assim, há um longo caminho a se fazer no sentido de mais estudos históricos, antropológicos e sociotécnicos para autoconhecimento da Ciência da Computação. Nesse sentido, os autores encaminham uma *pesquisa piloto* para identificar casos de professores e professoras negros e negras atuantes como docentes da pós-graduação em Ciência da Computação. O principal objetivo por trás dessa pesquisa foi descortinar trajetórias de sujeitos cuja formação se deu em uma época em que não havia largos debates sobre ações afirmativas na graduação, tampouco na pós-graduação.

Por meio de questionário e entrevista, identificou-se elementos qualitativos que podem caracterizar as trajetórias de alguns desses sujeitos com a perspectiva de incentivar outros estudos sobre a trajetória de negras e negros na Ciência da Computação.

Neste artigo, apresentaremos um recorte, em que apresentamos dados introdutórios sobre o perfil das mulheres negras investigadas. Os resultados desta pesquisa devem ser disponibilizados pela Fundação Carlos Chagas ainda em 2017.

2. Metodologia

Dada a natureza do objeto de investigação, descritivo-analítico, e dos objetivos de pesquisa, foram utilizadas duas técnicas fundamentais para coleta de dados (em duas

etapas): questionário e entrevista.

O questionário foi concebido utilizando a plataforma *Google Forms*[®], escolhida por proporcionar oportunidade de trabalho colaborativo entre a equipe, por facilitar a organização dos dados para futuras análises, por ser uma plataforma personalizável e possuir opções de perguntas, de múltipla escolha a listas suspensas e escalas lineares. Para validação das questões de acordo com as variáveis de pesquisa foi executado pré-teste com alguns sujeitos. Após o pré-teste, o questionário foi ajustado e seguiu para divulgação e disponibilização pública. As entrevistas foram realizadas por adesão. Foram convidados a participar da etapa de entrevistas todos aqueles que estavam dentro do perfil pesquisado e responderam o questionário aceitando participar de outra rodada de coleta de dados.

3. Alguns resultados parciais

Nesta pesquisa piloto o questionário ficou disponível para recebimento de respostas durante 36 dias, período no qual recebeu contribuições de 49 pessoas distribuídas em 13 estados da Federação, com um percentual de 60% das contribuições oriundas dos estados da Bahia e de São Paulo. Responderam ao questionário 21 pessoas do gênero feminino, das quais sete definem-se como brancas, sete pardas e sete pretas. Entre as pessoas de cor parda, uma não soube responder se é negra e outra respondeu que não se considera negra.

Para o presente recorte serão consideradas apenas as pessoas do gênero feminino e negras (pretas e pardas), totalizando 14 professoras. O escopo da pesquisa não considerou pessoas que possuíam como maior titulação a graduação ou que nunca tinham atuado na pós-graduação *stricto-sensu* em Computação no Brasil. Desta forma, das 14 professoras que responderam ao questionário, sete não responderam o questionário em toda sua extensão, por não terem atuação na pós-graduação *stricto-sensu*; portanto, não foram consideradas para análise, restando sete pesquisadoras. O Quadro 1 apresenta o perfil resumido delas.

Quando questionadas sobre a motivação para a escolha da área de Computação, cinco delas apontaram a aptidão com matemática como uma das razões. Duas citaram que foram motivadas por recomendação familiar, duas informaram que já tinham interesse específico na área, uma informou que já tinha parentes que trabalhavam na área e apenas uma citou que enxergava a Computação como uma profissão feminina também. Aspectos como ascensão social e retorno financeiro foram citados apenas duas vezes.

Durante a trajetória acadêmica e profissional, cinco delas mencionaram como desafios discriminação/preconceito por causa de sua cor/raça/etnia e duas mencionaram discriminação/preconceito por causa de gênero. Durante a trajetória profissional duas delas já pensaram ou pensam em desistir da área por condições inadequadas de trabalho e uma por outros interesses de pesquisa.

Ainda que elas mesmas tenham tido como desafios discriminação/preconceito por cor/raça/etnia ou gênero, cinco delas dizem não ter vivido ou presenciado atos racistas ou homofóbicos no cotidiano acadêmico no contexto da Computação, mas tem notícias de atos do gênero.

Em relação a questões financeiras, três mencionaram dificuldades financeiras

durante a trajetória acadêmica, sendo que uma delas precisou interromper os estudos de nível superior em algum momento. Três trabalharam durante a graduação para se sustentar ou sustentar a família. Duas dessas três cursaram o mestrado sem bolsas de estudos e uma com bolsa parcial de estudos. As demais cursaram o mestrado integralmente com bolsa. Na fase de doutorado, excetuando-se as duas que não tiveram bolsa de estudos durante o mestrado, as demais cursaram o doutorado com bolsa de estudos integral. Das duas que cursaram o mestrado sem bolsa de estudos, uma cursou o doutorado com bolsa de estudos parcial e a outra não cursou o doutorado.

Quadro 1. Perfil resumido das professoras de cursos de pós-graduação *stricto-sensu*

Área de Atuação	Faixa Etária	Região	Cor/Raça	Professora
Educação em Computação, Informática na Educação, Métodos Formais, Sistemas de Informação, Ontologias	45 a 49 anos	Nordeste	Parda	A
Arquitetura de Computadores e Processamento de Alto Desempenho, Sistemas de Informação, Sistemas Multimídia e Web	40 a 44 anos	Sudeste	Parda	B
Algoritmos, Combinatória e Otimização, Informática na Educação, Inteligência Artificial, Inteligência Computacional	50 a 54 anos	Centro-Oeste	Preta	C
Banco de Dados, Engenharia de Software	30 a 34 anos	Sul	Parda	D
Educação em Computação, Informática na Educação	40 a 44 anos	Norte	Preta	E
Engenharia de Software, Segurança da Informação e de Sistemas Computacionais, Sistemas Tolerantes a Falhas	60 a 64 anos	Sudeste	Preta	F
Educação em Computação, Informática na Educação, Inteligência Artificial, Computação e Sociedade	45 a 49 anos	Nordeste	Parda	G

No que concerne a oportunidades de acesso ao ensino superior, nenhuma delas foram beneficiadas por cotas ou ações afirmativas em qualquer fase da vida acadêmica e das sete mulheres apenas três fizeram mestrado ou doutorado sanduíche no exterior. Três das professoras relatam que durante sua trajetória acadêmica tiveram colegas negros no mestrado ou doutorado e somente uma afirmou ter professores negros no mestrado ou doutorado.

Mesmo abrangendo uma gama de variáveis, o questionário ainda mostrou-se insuficiente para esta investigação, pois questões relacionadas à herança de preconceitos, trajetória escolar anterior à universidade, incentivos na infância para seguir na área de exatas, forma de tratamento pelos pares no ambiente de trabalho,

dentre outros aspectos não puderam ser abordados. Desta forma, elas foram contatadas sobre a possibilidade de participar de entrevistas, sendo entrevistadas as professoras A, F e G. As reais identificações foram suprimidas por motivos éticos.

Por meio das entrevistas conseguimos relatos que seriam difíceis de exprimir nos questionários. A permanência dos estudantes em **condições sociais e econômicas desfavoráveis** era difícil mesmo quando este ia em busca de oportunidades, como pode ser visto no relato: *“Aí ela disse “a secretária já me olhou de cima a baixo e aí eu falei para ela que eu tava vendo possibilidade de você vir de ter uma bolsa, de não sei o quê e ela já foi logo cortando”. “Ah, sua filha não vai se dar bem aqui, porque o cursinho é muito puxado, porque precisa ter tido uma boa base no ensino fundamental e tal, porque não sei o quê”, e minha mãe, “não, mas ela sempre foi muito boa aluna na escola”, “ah, mas escola pública a senhora sabe como é que é” isso naquela época, quando escola pública ainda era muito boa. Mas na verdade o que minha mãe sentia: negro, pobre, aqui eu não quero.”* (Professora F)

É possível ver até mesmo reprodução de **atos racistas por professores**, como o relato da professora G: *“Fui me lembrar...ainda no ensino o quê? fundamental...acho que fundamental II. Uma professora de português que isso ficou na minha cabeça...que eu chegava lá..aí ela...ela gostava de mim assim porque eu sempre fui muito boa aluna...aquela menina né, muito bem comportada. Mas ela chegou assim e falou: “mas minha filha, sua mãe não penteia seu cabelo não é quando você vem?” Aí puxava meu cabelo assim pra amarrar pra ficar com o coquezinho todo comportado. Agora eu pensei assim: Nossa, acho que a mulher...ela avaliava assim essa menina tão boa aluna, mas...Entendeu né? Esse tipo de coisas né?”*

4. Considerações finais

A equipe continua analisando os dados levantados nessa pesquisa e pretende por meio de triangulação dos dados com a abordagem de Margolis *et al.* (2017), iniciar alguma teorização sobre esse tema no Brasil. Nessa teorização espera-se construir conhecimento sobre trajetória escolar e acadêmica dessas mulheres de modo que possam endereçar ações de fomento à participação feminina na Computação, especialmente pelas jovens, sejam elas negras ou não.

5. Agradecimentos

Agradecemos à *Ford Foundation*¹ e à Fundação Carlos Chagas² pelo provimento de recursos para financiamento desta pesquisa, por meio do Concurso de Pesquisa Negras e Negros nas Ciências.

Referências

- Margolis, J.; Estrella, R.; Goode, J.; Holme, J. J.; Nao, K. (2017). *Stuck in the Shallow End - Education, Race, and Computing*. EUA, MIT Press.
- Oliveira, A. C.; Moro, M. M.; Prates, R. O. (2014). Perfil Feminino em Computação: Análise Inicial. XXII Workshop sobre Educação em Computação, Brasília. In: *Anais do XXIX Congresso da Sociedade Brasileira de Computação*. Porto Alegre, SBC. p. 1465-1474.

¹ www.fordfoundation.org

² www.fcc.org.br

14º SBSC - Simpósio Brasileiro de Sistemas Colaborativos

Apresentação

O SBSC (Simpósio Brasileiro de Sistemas Colaborativos) é um evento da Comissão Especial de Sistemas Colaborativos (CESC) da SBC que vem ocorrendo desde 2003. Ao longo desse tempo, o SBSC se consolidou como o mais importante fórum nacional de debate para docentes, pesquisadores e profissionais da área de Sistemas Colaborativos refletirem, analisarem e avaliarem aspectos relacionados à criação, desenvolvimento e uso destes sistemas. O escopo do evento inclui redes sociais, ambientes de desenvolvimento distribuído de software, sistemas de compartilhamento de arquivos, mundos virtuais, editores cooperativos, wikis, sistemas de gestão de conhecimento e ferramentas de comunicação, como videoconferência e blogs. O SBSC 2017, alinhado ao CSBC 2017, traz à discussão o tema “Computação para tudo e tod*s” com a preocupação de explorar os vários aspectos desta temática contemporânea, assim como promover o debate sobre os desafios técnicos, sociais, materiais e teóricos que envolvem tanto a utilização quanto o desenvolvimento de sistemas que dão suporte à colaboração entre pessoas. Tratam-se de tecnologias que permitem novas formas de viver e trabalhar juntos independentemente das localizações geográficas, dando apoio a processos corriqueiros, tais como a comunicação entre pessoas/familiares distantes, reuniões de negócios, dentre outros. O desenvolvimento e o uso de sistemas colaborativos afetam grupos, organizações, comunidades e redes como meio de comunicação e desenvolvimento de atividades coletivas.

A submissão de artigos ao SBSC2017 foi realizada envolvendo duas trilhas: artigos de pesquisa concluída, com até 15 páginas e artigos de pesquisa em andamento, com até 10 páginas. Foram recebidos um total de 51 artigos que foram avaliados por membros do comitê de programa. Foram aceitos um total de 26 artigos que abordam desafios das pesquisas em sistemas colaborativos e trazem contribuições maduras ao simpósio. Destes 26 artigos, 17 são artigos de pesquisa concluída e 9 pesquisa em andamento.

Maria Amelia Eliseo (Mackenzie), Jane de Almeida (Mackenzie), Nazareno Andrade (UFCEG), Fernando Figueira Filho (UFRN)

Comitê Organizador

Coordenação Geral

Maria Amelia Eliseo (Universidade Presbiteriana Mackenzie), Jane de Almeida
(Universidade Presbiteriana Mackenzie)

Coordenação do Comitê de Programa

Nazareno Andrade (UFCG), Fernando Figueira Filho (UFRN)

Coordenação do Workshop de Teses e Dissertações

Lesandro Ponciano (PUCMG)

Co-Organização do Workshop de Teses e Dissertações

Bruno Freitas Gadelha (UFAM)

Comitê Gestor da Comissão Especial de Sistemas Colaborativos (CESC)

Raquel de Oliveira Prates (UFMG - coordenadora), Thais Helena Castro (UFAM - vice-coordenadora), Bruno Gadelha (UFAM), Carla Diacuí Medeiros Berkenbrock (UDESC), Denise Fillipo (UERJ), Mariano Pimentel (UNIRIO), Sabrina Marczak (PUCRS)

Apoio à Coordenação Local

Valéria Farinazzo (Universidade Presbiteriana Mackenzie)

Comitê de Programa

Adriana Vivacqua (DCC-IM/UFRJ), Alberto Castro (UFAM), Alberto Raposo (PUC-Rio), Ana Cristina Garcia (UFF), Andrea Magdaleno (UFF), Beatriz Pacheco (Universidade Presbiteriana Mackenzie), Bruno Gadelha (UFAM), Carla Berkenbrock (UDESC), Carlos Ferraz (UFPE), Celso Hirata (ITA), Claudia Cappelli (UNIRIO), Claudia Motta (UFRJ), Cleidson de Souza (ITV e UFPA), Clever Farias (FFCLRP/USP), Crediné de Menezes (UFRGS), Daniel Paiva (UFF), Denise Filippo (UERJ), Edeilson Milhomem Silva (CEULP/ULBRA), Flavia Santoro (UNIRIO), Hugo Fuks (PUC-Rio), Igor Steinmacher (UTFPR), Ivan Ricarte (UNICAMP), Jauvane Oliveira (LNCC), João Porto de Albuquerque (USP), Jorge Correia Neto (UFRPE), José Maria David (UFJF), Lesandro Ponciano (PUCMG), Marco Mangan (PUCRS), Marco Aurelio Gerosa (IME - USP), Marcos Borges (UFRJ), Melise Paula (UNIFEI), Pedro Porfirio Farias (Universidade de Fortaleza), Rafael Prikladnicki (PUCRS), Raquel Prates (UFMG), Rita Suzana Pitangueira Maciel (UFBA), Roberta Gomes (UFES), Roberto Willrich (UFSC), Rosiane de Freitas (UFAM), Sabrina Marczak (PUCRS), Thais Castro (UFAM), Vagner Santana (IBM Research), Vaninha Vieira (UFBA)

Palestras

The Sensor Network is the Computer

Brett Stalbaum (presenter), Cicero da Silva (co-author)

The Earth has forever been a geological, oceanographic, atmospheric and magnetic computer, albeit of an analog type. The very recent development - less than a century in practical terms - of digital computing has accelerated explosively in cultural and economic time, but even more so in a geological time scale. It is uncontroversial that computation has been a key component of the Anthropocene and accelerationism. This research seeks to trace out some of the computational trajectories of this explosion by looking at the spread of computation from the "data center", "desktop" and "touch", all the way to the surface of the planet. We speculate on potential near futures, dangers, opportunities and the ultimate indifference of silicon and radio spectrum. Of particular interest is the trajectory of parallel computing and the possibility that technology that was originally developed to continue the battle to sustain Moore's Law is about to participate in something different and quite novel: the rise of a co-extensive geographic scale of digital computation that begins to rival the analog nature of the planet's original computational ability, where the violent historical motion of compute from the "data center" toward the "probe heads" of the sensor network portend a planet with radically altered defenses against humanity.

Bio: Brett Stalbaum is Associate Professor and coordinator of the Interdisciplinary Computing in the Arts Major at the University of California, San Diego (UCSD). He teaches computing related courses, computer programming and the histories of computing in media art for the Visual Arts and Computer Science departments. He is co-founder of the Electronic Disturbance Theater in 1998 and co-developed software called FloodNet, which has been used on behalf of the Zapatista movement against the websites of the Presidents of Mexico and the United States, as well as the Pentagon. As Forbes Magazine put it "Perhaps the first electronic attack against a target on American soil was the result of an art project." His projects are the Walkingtools project, Gun Geo Marker app, The Transborder Immigrant Tool and "Earth Computing" in the bi-national Unifesp/SDSC (San Diego Supercomputer Center)/UCSD Walkingtools.net Lab (with co-PI Cicero da Silva.).

Cicero Inacio da Silva is a researcher and professor in the field of digital technologies applied to education, health, culture, arts and media. He is coordinator of the Brazilian Telehealth Networks Program and teaches at the Open University of Brazil. He was a deputy coordinator of the Open University of Brazil (UAB) and member of the Governance Committee at the Federal University of São Paulo (Unifesp). Cicero Coordinates the Software Studies group in Brazil and the Walkingtools Lab, both in partnership with the University of California, San Diego (UCSD) and CUNY. He was Digital Art curator for the Brazilian Digital Culture Forum (Ministry of Culture/RNP), Digital Communities honorary mention at the Prix Ars Electronica in 2010. He was a

visiting professor at UCSD from 2006 to 2010 and a visiting scholar at Brown University (2005).

Insight Through Images: Visualization and Collaboration Technologies for Exploring Big Data

Maxine D. Brown (Electronic Visualization Laboratory, University of Illinois at Chicago)

Today, most professions rely on computers to generate, capture, filter, analyze and visualize data. These troves of data are invaluable to scientists as they explore the raw information and evidence needed for new insights and discovery; however, making those insights is an ever more complicated task, as the scale and complexity of data continue to grow at unprecedented rates. Today's Big Data comes from supercomputers, data stores, and sensors. To make sense of all this information, researchers need advanced cyberinfrastructure that includes Big Displays connected to these Big Data Generators via Big Networks. The Electronic Visualization Laboratory (EVL) at the University of Illinois at Chicago specializes in the design and development of high-performance visualization, virtual-reality and collaboration display systems and applications utilizing advanced networking. This presentation presents an overview of EVL's research agenda, and how the Lab is helping enhance immersive simulation exploration and information-rich analysis, and enabling scientific discovery through interdisciplinary collaboration.

Bio: Maxine Brown is director of the Electronic Visualization Laboratory (EVL) at the University of Illinois at Chicago (UIC) and responsible for fundraising, outreach, documentation, and promotion of its research activities. Her research interests are computer graphics, scientific visualization, collaboration, human-computer interfaces, high-performance computing, and international network infrastructure. Brown is active in ACM SIGGRAPH organization and SIGGRAPH and ACM/IEEE Supercomputing conferences; general Co-Chair of IEEE Visualization 2015. Maxine Brown was a recipient of the Academic Professional Excellence (CAPE) award (1990) by UIC Chancellor's; ACM SIGGRAPH Outstanding Service Award (1998); UIC Merit Award (2001). One of 15 Global Visionaries by Chicago's award-winning multimedia public affairs series "Chicago Matters: Beyond Burnham" due the co-developing the StarLight national/international communications exchange, located in downtown Chicago.

She is co-principal investigator of the US National Science Foundation's (NSF) International Research Network Connections program's StarLight Software Defined Networking Exchange (SDX) initiative. Was previously co-principal investigator of the NSF-funded TransLight / StarLight, EuroLink and STAR TAP / StarLight initiatives. Was also the project manager of the NSF-funded OptIPuter project. A founding member of the Pacific Rim Applications and Grid Middleware Assembly (PRAGMA) and the Global Lambda Integrated Facility (GLIF). UIC representative and Past President of the Board of Directors of the Great Lakes Consortium for Petascale Computing. Co-created and co-chaired the international grid (iGrid) Workshops in 1998, 2000, 2002 and 2005.

Trabalhos completos

iLibras como facilitador na comunicação efetiva do surdo: uma ferramenta colaborativa móvel

Simone Erbs da Costa, Carla Diacui Medeiros Berkenbrock, Fabiola Sucupira Ferreira Sell, Gian Ricardo Berkenbrock

THEM: Ferramenta colaborativa para suporte a avaliações de interfaces baseadas na Avaliação Heurística

Francis Santos, Glívia A. R. Barbosa, Ismael S. Silva, Flávio R. S. Coutinho

Tenebris: Um Sistema de Recomendação de Obras Acadêmicas baseado em Filtragem Híbrida. Tenebris: A Recommendation System for Academic Papers based in Hybrid Filtering

Fábio S. Silva, Letícia C. Passos, Lucas Gabriel C. Evangelista, Thiago M. Rocha

Uma Abordagem para Identificação de Entidades Influentes em Eventos Comentados nas Redes Sociais Online

Rayol M. Neto, Bruno A. Souza, Thais G. Almeida, Fabíola G. Nakamura, Eduardo F. Nakamura

Utilizando Teoria da Informação para Identificar Conversas de Pedofilia em Redes Sociais de Mensagens Instantâneas

Juliana G. Postal, Eduardo F. Nakamura

Análise da Popularidade, Visibilidade e Atividade de Diferentes Tipos de Robôs na Rede Social Twitter

Andreza Valgas, Felipe Carmo, Lesandro Ponciano, Luís Góes

Apoiando a Composição de Serviços em Ecossistemas de Software Científico

Phillipe Marques, José Maria N. David, Victor Ströele, Regina Braga, Fernanda Campos, Marco Antônio P. Araújo

Context-SE: Conceptual Framework to Analyse Context and Provenance in Scientific Experiments

Lenita M. Ambrósio, José Maria N. David, Regina Braga, Fernanda Campos, Victor Ströele, Marco Antonio Araújo

Uma Análise de Confiabilidade em Pesquisas em Sistemas de Economia Colaborativa

Geanderson E. dos Santos, Raquel O. Prates

Quantificando a Importância de Emojis e Emoticons para Identificação de Polaridade em Avaliações Online

Hildon L. de Paula, Bruno A. Souza, Fabíola G. Nakamura, Eduardo F. Nakamura

Me sinto de mãos dadas! Um estudo sobre efeitos de comunidade no comportamento online de suas participantes

Talita L. Menezes, Joanna L. Q. Marques, Nazareno F. Andrade

WikiOlapBase: A collaborative tool for open data processing and integration

Pedro M. Bernardo, Ismael S. Silva, Glívia A. R. Barbosa, Flávio R. S. Coutinho, Evandrino G. Barros

Estudo e Implementação de Técnicas de Motivação no Moodle

Samanta F. Aires, Jair C. Leite

O Processo de Evolução de Regras de Gamificação para Emergir uma Inteligência Coletiva

Adilson Ricardo da Silva, Mariano Pimentel

Modelo 3C de Colaboração aplicado ao uso de um repositório para o desenvolvimento de interfaces para autistas

Áurea Hiléia da Silva Melo, Clara Aben-Athar Bentes Fernandes, Marco Santarelle da Silva Jardim, Raimundo da Silva Barreto

Caracterização de Opressão de Gênero em Redes Sociais a partir de Violações dos Princípios de Afetibilidade: Um estudo de caso no Facebook

Rafael S. M. Ferreira, Glívia A. R. Barbosa, Carolina Andrade, Ismael S. Silva, Flávio R. S. Coutinho

MASSVA: Modelo de Avaliação de Sistemas Sociais sob a ótica dos Valores humanos nas postagens dos usuários

Denilson C Oliveira, Elizabeth S. Furtado, Marília S. Mendes

Trabalhos em andamento

Coordenando permissões de postagem em blogs por meio de Web fingerprinting

Jordan Queiroz, Samantha Correa, Eduardo Feitosa, Bruno Gadelha

Laboratórios Online Móveis em um Ambiente de Experimentação Colaborativo

José Pedro Schardosim Simão, João Paulo Cardoso de Lima, Hamadou Saliah-Hassane, Juarez Bento da Silva, João Bosco da Mota Alves

Aplicação da prática colaborativa no desenvolvimento de um jogo para o ensino da programação

Mauro Marcelo Mattos, Luciana Pereira de Araújo, Fabrícia Durieux Zucco, Nelson Hein, Karina Zendron da Cunha, Gabriel Castellani de Oliveira, Leonardo Rossi Bordone, Nathan Kruger, Lucas Eduardo Schlögl, Adriane Tomé, Pedro Lima Bursoni

Sistema Colaborativo para Captação de Doadores de Sangue

Arthur O. da Silva, Luana L. Rodrigues, Rodrigo R. Oliveira, Rodrigo R. Oliveira

Um Método de Agrupamento Incremental para a Detecção de Eventos em Redes Sociais

Alice A. F. Menezes, Carlos M. S. Figueiredo

wIntolerance – Uma plataforma para integração de pessoas com restrições alimentares

Leonardo Braga Genuino, Hedo Ecker da Silva Júnior, Rodrigo Remor Oliveira

Towards an Educational Platform with Real-Time Collaboration and Monitoring of Students Achievement

Paulo Silas Severo de Souza, Wagner dos Santos Marques, Jaline Gonçalves Mombach

“Bela, Recatada e do Lar”: Base de Dados e Aspectos do Movimento Social Ocorrido na Rede Social Online Twitter

Marcela Mayumi Mauricio Yagui, Luís Fernando Monsores Passos Maia, Wallace Ugulino, Adriana Vivacqua, Jonice Oliveira

Gamificando o Portal para Novatos em Software Livre FLOSSCoach: Insights de uma Avaliação Preliminar

Carolina Toscani, Igor Steinmacher, Sabrina Marczak

iLibras como facilitador na comunicação efetiva do surdo: uma ferramenta colaborativa móvel

**Simone Erbs da Costa¹, Carla Diacui Medeiros Berkenbrock¹,
Fabiola Sucupira Ferreira Sell¹, Gian Ricardo Berkenbrock²**

¹Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC) Joinville – SC – Brasil

²Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) Joinville – SC – Brasil

si.gen@terra.com.br, carla.berkenbrock@udesc.br,

fabiola.sell@udesc.br, gian.rb@ufsc.br

Resumo. *A comunicação é a forma de compartilhar informação, desenvolver cultura e interagir na sociedade. As tecnologias computacionais em conjunto com Sistemas Colaborativos (SC) contribuem na acessibilidade comunicacional das pessoas e no processo inclusivo. O presente trabalho apresenta uma abordagem para apoiar a comunicação de pessoas surdas e também usuários de Libras por meio de ferramentas computacionais móveis e colaborativas. São adotadas as abordagens da metodologia da pesquisa de Design Science Research (DSR) e Participativo (DP). Dessa forma, foi possível compreender melhor os usuários, bem como construir os recursos computacionais para facilitar a comunicação com surdos.*

Abstract. *Communication is the way to share information, develop culture and interact in society. Computing technologies together with Collaborative Systems (CS) have contributed to the communication accessibility of the people and in the inclusive process. This research presents an approach to support the communication of deaf people and users of Libras by means of collaborative and mobile computing tools. The approaches Design Science Research (DSR) and Participative (PD) are adopted. Therefore, it was possible to better understand the users as well as to build computing resources to facilitate the communication with the deaf.*

1. Introdução

A comunicação é utilizada pelos seres humanos desde o início da sua existência, sendo a linguagem (fala, escrita ou sinais) a principal forma de o homem transferir conhecimento e interagir na sociedade em que vive ao se comunicar. Onde existe linguagem, existe comunicação, pois a linguagem está associada aos fenômenos comunicativos. A linguagem é a maneira pela qual o conhecimento é adquirido, e na qual o homem expressa suas ideias, pensamentos, mensagens e sentimentos.

A aquisição dessa linguagem é algo complexo. Existe uma relação no ato de falar e compreender, e de ler e escrever. O conhecimento da linguagem da fala é o alicerce da leitura e o canal de comunicação mais utilizado pelas pessoas ao se comunicarem. Para Gadamer (2002, p. 176) “é aprendendo a falar que crescemos, conhecemos o mundo, conhecemos as pessoas e por fim conhecemos a nós próprios.”. Assim, para que uma

pessoa possa se comunicar, vários fatores estão envolvidos, como: gestos, sons, escritas e imagens são necessários. Os problemas de audição vão além dos problemas de não ouvir, estão relacionados com o desenvolvimento da pessoa.

Pessoas com necessidades especiais possuem mais dificuldades ao se comunicarem devido à ausência ou problemas em um ou mais dos sentidos. Nesses casos, se faz necessário utilizar mais de uma linguagem, ou seja, mais de um canal de comunicação, ocorrendo os problemas de falhas e as dificuldades (ruídos) de comunicação. A perda dessa comunicação natural é o maior prejuízo do surdo ou pessoas com problemas na audição, já que para se ter uma comunicação efetiva é fundamental utilizar o mesmo canal de comunicação (ROSA, 2009).

Alguns pesquisadores, visando reduzir as barreiras de acesso à comunicação, bem como apoiar a comunicação das pessoas surdas, tecem algumas considerações. Nascimento, Fortes e Kessler (2015) colocam que a utilização de recursos tecnológicos em conjunto com as devidas estratégias promovem o aprender de forma interativa, propiciando, assim, uma melhor comunicação do surdo. Para Trindade (2013, p. 4) “atividades colaborativas têm relevância para a formação humana, social, histórica, e política e podem contribuir para a construção do conhecimento e da identidade do surdo.”

A comunicação, conforme Pimentel, Gerosa e Fuks (2012) é um dos pilares dos Sistemas Colaborativos (SC); contudo, ela é mais umas das barreiras enfrentadas pelas pessoas surdas. Neste sentido, a popularização das TDIC e o uso crescente dos dispositivos móveis têm causado um grande impacto na sociedade, mudando a forma de as pessoas interagirem e estabelecerem suas relações pessoais. Para Machado et al. (2016), esse avanço tecnológico e o uso dos dispositivos móveis em SC criam um ambiente interativo e motivador, propício para se trabalhar de forma colaborativa. Tendo em vista apoiar esse ambiente em um sistema computacional colaborativo que trate as questões relacionadas com a comunicação, coordenação e cooperação, neste trabalho será utilizado o Modelo 3C (M3C) de colaboração (PIMENTEL et al., 2006).

Neste tocante, desenvolver condições de acessibilidade comunicacional bilíngue de pessoas surdas pode ser uma das estratégias para lhes garantir melhores condições de acesso às informações e à comunicação. As Tecnologias Digitais da Comunicação e Informação (TDIC) potencializam a acessibilidade comunicacional. Por meio delas é possível criar conteúdos digitais com múltiplas linguagens e mídias, onde as TDICs podem ser utilizadas como Tecnologias Assistivas (TA).

O presente trabalho apresenta uma abordagem para apoiar a comunicação de pessoas surdas e usuários de Língua Brasileira de Sinais - Libras por meio de ferramentas computacionais móveis e colaborativas. A hipótese é que a revolução digital e da informação em conjunto com os SC e as tecnologias adaptativas criem ambientes propícios para interagir e se relacionar de forma atrativa, apoiando a comunicação de pessoas surdas e usuários de Libras. A abordagem utilizada na metodologia de pesquisa é do *Design Science Research* (DSR) e Participativo (DP). Dessa forma, conjectura-se explorar conhecimentos para melhor compreender os usuários e construir os recursos computacionais para comunicação.

2. Comunicação e Comunicabilidade

Para que a comunicação seja estabelecida alguns processos são envolvidos, a saber: emissor e receptor, mensagem a ser comunicada, o contexto que esta mensagem está inserida

(lugar, tempo, valores, relações sócio-econômica e afins), o código utilizado para transmitir a mensagem. Além do significado da mensagem, está a percepção do emissor diante da mensagem, assim como a percepção do receptor, levando à ambiguidade da mensagem ou problemas de entendimento em muitos casos. As relações estabelecidas entre os interlocutores da mensagem e o seu contexto de referência podem propiciar uma comunicação lógica e objetiva (CYBIS, 2003).

Ao se relacionar com outras pessoas se faz necessário utilizar algum meio de comunicação, sendo necessária compreender os sistemas de comunicação e os mecanismos conversacionais. Os mecanismos conversacionais servem como facilitadores no fluxo da conversa e é uma das três principais categorias de mecanismos sociais usados para coordenação em SC (PREECE; ROGERS; SHARP, 2005), assim como a coordenação e a percepção, tornando possível uma relação de como os recursos e sistemas tecnológicos podem ser projetados para facilitá-los. Preece, Rogers e Sharp (2005) também colocam que esses mecanismos devem prover de estratégias para a coordenação das ações dos usuários, e os mecanismos de percepção são usados para saber o que cada qual está fazendo.

Com relação aos sistemas de comunicação, eles abrem novos horizontes, possibilitam novas formas de se comunicar e escrever, sendo necessário a troca de saberes. Dessa forma, a comunicação precisa ser eficiente, para tal, é necessário que o emissor e o receptor tenham a mesma compreensão na comunicação, ou seja, o receptor precisa compreender a comunicação da mesma forma que o emissor idealizou. Rosa (2009) observa que para uma pessoa, uma instituição ou uma nação obterem sucesso é necessário que exista uma comunicação eficaz e eficiente, apoiando e flexibilizando as comunicações e propiciando, conforme Pimentel, Gerosa e Fuks (2012, p. 67), uma conversação para ação.

O termo de conversação-para-ação nasceu com o objetivo de apoiar tanto as ações de comunicação quanto as de coordenação, ambos presentes no M3C de comunicação e utilizados nesta pesquisa. Pode-se dizer que são “um conjunto de estados” e cada vez que ocorre uma mudança de um estado para outro, ou seja, uma transição, ocorre um ato de fala (PIMENTEL; GEROSA; FUKS, 2012, p. 67–68). Segundo os autores, a compreensão da teoria dos atos de fala mudou a forma como a comunicação é vista, a informação é utilizada para realizar ações além de as transmitir.

Para que exista a conversação-para-ação ou a comunicação efetiva, se faz necessário o processo de comunicação. De acordo com Rosa (2009), para que ocorra uma comunicação de forma eficaz é necessário respeitar algumas condições a saber: (i) a comunicação é determinada pelo emissor, de acordo com sua posição, *status* social, reputação e experiência; (ii) o emissor não pode dizer algo de muito diferente daquilo que o receptor espera dele, caso contrário, a comunicação terá um resultado negativo; (iii) a comunicação é influenciada pela oportunidade e o momento em que dizemos algo; e (iv) uma comunicação eficiente depende de adaptar as tentativas de intercomunicação à ocasião, à situação, ao tema e às pessoas envolvidas.

Ainda relacionado com as estratégias de comunicação na conversação para ação, Libras e intérpretes de Libras são ferramentas importantes para o surdo (NASCIMENTO; FORTES; KESSLER, 2015); assim como imagens representativas. O uso de recursos tecnológicos em conjunto com as devidas estratégias fomentam o aprender de forma in-

terativa, melhorando a comunicação entre surdo e ouvindo. Nesse sentido, Moura (2015, p. 23) observa que “[...] atividades colaborativas são importantes, pois promovem comunicação, cooperação e coordenação entre o professor e alunos, de modo a tornar o processo de ensino-aprendizagem mais produtivo.”. Assim, atuam como facilitadores no processo comunicacional do surdo.

Dois conceitos nesse cenário ainda se fazem necessários e são importantes para o presente estudo, modelos de comunicação e comunicabilidade. Pode-se dizer que na busca de um modelo ideal de comunicação, cada modelo possui características próprias, elementos e formas que estes se relacionam entre si e com o todo. Independente da maneira com que o pesquisador realizará a conduta da sua pesquisa se faz necessário identificar e classificar os serviços de comunicação utilizados no sistema de comunicação.

Comunicabilidade é o meio de transmissão utilizado na comunicação aliado com uma comunicação eficiente. Não basta que o projetista apenas elabore um bom sistema, o sistema deve ser capaz de apresentar o seu funcionamento e possibilidades de interação, de forma que os usuários possam explorar o máximo de seu potencial. A comunicabilidade é uma comunicação efetiva potencializada com as tecnologias, termo este em que o presente estudo está fundamentado. A comunicabilidade será realizada por meio de um recurso computacional de forma colaborativa para dispositivos móveis, que ao entrar com uma palavra possibilite que a sua saída possa ter diferentes representações como: escrita de sinais (*signwriting*), Libras, imagem e/ou som. A ferramenta permitirá a entrada de diferentes formatos ou representações, mas isso não significa que todos os formatos serão apresentados.

3. Protótipo iLibras: aplicando a metodologia da pesquisa

O conhecimento adquirido durante a condução de uma pesquisa é uma fonte de informação para a comunidade científica. Nesse sentido, Alan et al. (2004) colocam que a comunidade científica necessita de um conhecimento claro das definições, limites, ontologias, resultados de concepção e execução. Objetivando identificar formas e recursos computacionais para apoiar a comunicação da pessoa surda em conjunto com SC móveis foi realizado uma série de conjecturas embasadas na literatura das melhores práticas a serem adotadas na busca dessa solução.

O método de pesquisa utilizado neste trabalho é o *Design Science Research* (DSR). Para Hevner (2007), o DSR visa elevar o desempenho do resultado da pesquisa dos sistemas de informação, trazendo contribuições para a comunidade científica, sendo seu paradigma orientado à solução de um ou mais problemas específicos. Quanto a sua utilização, Hevner (2007) faz uso do DSR em sistemas de informação, sendo necessário ter a “ciência do design” e a “ciência do comportamento”. O DSR possui três etapas: ambiente, DSR e Base do Conhecimento; e pode ser visto em uma junção de três ciclos reguladores de atividades relacionadas, a saber, Ciclo da Relevância, Ciclo do Design e Ciclo do Rigor.

De acordo com Hevner (2007), os produtos de pesquisa são oriundos de teorias e artefatos que produzem retorno (*feedback*), possibilitando o seu refinamento. Nesse sentido, foi construído um *framework* conceitual. No Quadro 1 pode ser visto um conjunto de diretrizes do DSR adaptadas para esta pesquisa.

Quadro 1. Diretrizes do DSR, adaptado de Dresch, Lacerda e Júnior (2015).

Diretriz	Aplicação da diretriz na pesquisa DSR
Relevância do problema	Moura (2015, p. 23) coloca que “[...] atividades colaborativas são importantes, pois promovem comunicação, cooperação e coordenação [...]”. Para (TRINDADE, 2013, p. 4), “atividades colaborativas têm relevância para a formação humana, social, histórica, e política e podem contribuir para a construção do conhecimento e da identidade do surdo.”. No censo de 2009 foram registradas 24,5 milhões de pessoas com algum tipo de deficiência e 9,7 milhões possuem deficiência auditiva (DA), representando 5,1% da população (IBGE, 2010). A presente pesquisa tem foco na comunicação obtida com a tecnologia, visando ser um facilitador no processo comunicacional do surdo.
Artefatos	Dois artefatos produzidos. Um modelo comunicação para apoiar o processo de comunicação pelas pessoas surdas e também usuários de Libras, fundamentado nas necessidades identificadas na presente pesquisa e as telas e os seus componentes para dispositivos móveis para apoiar o processo comunicacional do surdo de acordo com o modelo idealizado e as tecnologias digitais e assistivas.
Processo de busca da solução	Guiado pelo método de pesquisa DSR, conceitos de IHC, especificamente do Design Centrado no Usuário ou <i>User Centred Design</i> (UCD), do DP e do Desenho Universal (DU) para pesquisa e desenvolvimento da solução.
Rigor da pesquisa	Para cada ciclo de conhecimento da pesquisa um ou mais conceitos são utilizados para garantir o rigor da pesquisa. Avaliação dos especialistas, observação do uso e avaliação da utilização dos componentes são utilizados para garantir o rigor da pesquisa durante os ciclos de design.
Avaliação	Avaliação de acessibilidade e usabilidade, com o envolvimento dos usuários utilizando a análise de observação de uso, questionários quantitativos quanto a acessibilidade de comunicação do protótipo.
Contribuição da pesquisa	Uso do DSR na área de SC; Análise dos resultados do uso de UCD, do DP no design de SC e Assistivos; Acessibilidade e Usabilidade e princípios adotados do DU, Avaliação de acessibilidade junto a 5 especialistas, sendo 2 usuários, no Registro dos resultados obtidos sobre oportunidades no uso de dispositivos móveis para facilitar a comunicação da pessoa surda e/ou usuário de Libras.
Comunicação da pesquisa	Visa a comunidade científica interessada no desenvolvimento de SC, TDIC, TA, acessibilidade comunicacional do surdo, DU e dispositivos móveis.

3.1. Relevância do Problema

No censo de 2009 foram registradas 24,5 milhões de pessoas com algum tipo de deficiência e 9,7 milhões possuem deficiência auditiva (DA), representando 5,1% da população (IBGE, 2010). Ao se ver uma pessoa surda, normalmente não vemos ou pensamos além do som (sinal sonoro) ou da língua de sinais como meios pelos quais eles se comunicam. Se faz necessário buscar formas alternativas de comunicação disponíveis para os surdos e principalmente olhar além da língua de sinais e o dos aparelhos auditivos. A surdez não implica somente na perda de audição e das dificuldades da fala, implica também na forma que a pessoa está inserida na sociedade, na sua identidade e desenvolvimento.

A Língua de sinais é uma linguagem visual-espacial, onde a informação é recebida de forma visual (olhos) e produzida pelas mãos. Assim como cada país que cada país ou comunidade surda apresenta sua própria língua de sinais. Ela nasce de forma natural nas Comunidades Surdas, sendo um instrumento poderoso para que se possa ter uma comunicação efetiva, elementos esses presentes na comunicação pictográfica.

Os dois artefatos criados são oriundos do fato que nesse modelo, alguns requisitos básicos se fazem necessário, a saber, (i) comunicar-se com o surdo por meio do instrumento simbólico que ele domina (Libras, escrita de sinais (*signwriting*), imagem, etc.); (ii) possibilitar ao surdo um modelo de convívio social vinculado à sua idade cronológica e intelectual; (iii) engajar o surdo na comunicação e na argumentação com outras pessoas; entendendo o significado das palavras; (iv) possibilitar que o surdo construa textos que expressem suas ideias e anseios, fazendo uso da língua para diversos propósitos de acordo com seu nível de desenvolvimento cognitivo e social; (v) permitir expressar seus pensamentos por meio de diferentes recursos (Libras, escrita de sinais (*signwriting*), gestos, imagens, dramatização, etc.); e (vi) promover um Modelo de Comunicação Efetiva (MCE) ou Modelo de Comunicabilidade (MC) para que o surdo possa se expressar com sucesso.

Os problemas se potencializam com (i) a falta de intérpretes nas escolas e instituições; (ii) o surdo muitas vezes não compreende satisfatoriamente a língua portuguesa escrita, ocasionando uma exclusão digital, pois o mesmo não entende as páginas que acessa e navega pela internet, pelo fato de sua língua materna ser a Libras; (iii) o usuário não troca informações, mensagens e vídeos com outros usuários; (iv) o surdo possui mais de um meio de comunicação (Libras, escrita de sinais (*signwriting*), escrita portuguesa, gestos, etc.); (v) principalmente conforme colocado por uma das especialistas nesse estudo de Libras, que o surdo na maioria das vezes nasce em uma família de ouvintes, se a mesma conceber a surdez como doença tentará usar a língua oral como meio de comunicação e o não contato com a língua natural na comunidade em que vive (Libras), faz com que o surdo cresça com uma visão de mundo diferente dos ouvintes. Nesses casos, a pessoa surda geralmente apresenta dificuldades de estabelecer contatos interpessoais e de interação social.

3.2. Artefatos

Os artefatos são criados por meio de ciclos, e os ciclos se repetem até que o nível desejado seja atingido, nesse caso, o ciclo final. Cada ciclo finalizado gera uma base de conhecimento, sendo essa a base de conhecimento instanciado no próximo ciclo (HEVNER, 2007).

O presente trabalho tem foco na definição de dois artefatos de *software* entendíveis para a comunicação de pessoas surdas. O primeiro artefato é um MCE ou MC que foi modelado pela equipe de desenvolvimento de sistemas e aplicado ao segundo artefato produzido pela pesquisa. Um protótipo de telas e seus componentes, intitulado iLibras, sendo um facilitador na comunicação da pessoa surda. Nesse processo, conforme visto nas seções 1 e 2, para que a comunicação ocorra se faz necessário que a mensagem seja transferida e recebida por meio de um canal de comunicação. Neste trabalho, esse canal é apoiado pelo *software* desenvolvido, e conterá a linguagem utilizada na comunicação, forma de expressar o pensamento pela fala, escrita ou gestos e será utilizado por grande parte das interações. Assim, o contexto da pesquisa utiliza o MCE modelado visando o

desenvolvimento de uma CA, para que os usuários na pessoa da intérprete de Libras, da coordenadora de educação da escola e do professor regente da sala possam vir a colaborar ao utilizar os artefatos de comunicação adaptadas para as telas de dispositivos móveis.

3.3. O Rigor e o Processo de Busca da Solução

O desenvolvimento da pesquisa foi dividido em três ciclos de design. O primeiro ciclo do design é o ciclo intitulado de “Conhecendo o usuário” (subseção 3.3.1); o segundo ciclo foi intitulado de “Ciclo do Modelo de Comunicabilidade” (subseção 3.3.2) e o terceiro ciclo foi denominado “Ciclo do Protótipo de Comunicabilidade” (subseção 3.3.3). Para cada um dos ciclos são descritas as técnicas e os métodos de avaliação utilizados, mantendo o rigor de pesquisa.

3.3.1. Ciclo 1 do Design: Conhecendo o Usuário

O primeiro passo do ciclo 1 do design realizado diz respeito aos usuários que irão interagir, colaborar e comunicar com pessoa surda. Nesse sentido, Hevner (2007) coloca, que em pesquisas de sistemas de informação se faz necessário conhecer os elementos relacionados com os paradigmas da “ciência do comportamento” e da “ciência do design”. A ciência do comportamento diz respeito às necessidades e regras de negócio identificadas e a ciência do design aborda a pesquisa em si, do seu próprio desenvolvimento, e de como serão realizados as avaliações dos artefatos projetados.

O ciclo da ciência do comportamento na Figura 1 se refere a busca do conhecimento dos usuários, seus problemas e dificuldades, analisando os problemas na comunicação e os seus fatores influenciadores. No estudo, a ciência comportamental investiga os requisitos necessários para apoiar o uso das TA por pessoas surdas por meio do uso de dispositivos móveis e SC (seção 2). O usuário possui o conhecimento necessário para produzir o artefato, motivo pelo qual a pesquisa utilizou a abordagem de UCD, fortalecendo a estratégia de foco nas necessidades dos usuários.

A ciência do design da referida figura desenvolve, testa, avalia e refina os artefatos do MCE aplicado ao protótipo de telas e componentes de comunicação para dispositivos móveis de forma colaborativa, utilizando a abordagem da prototipação. A técnica da prototipação possibilitou verificar e validar junto ao usuário final as funcionalidades de comunicação, assim como torna possível avaliar se os artefatos produzidos de comunicação atenderão as suas reais necessidades. A última fase do ciclo, diz respeito à sua avaliação por especialistas onde é possível identificar os sucessos e fracassos dos artefatos de comunicação produzidos. Desta forma, os artefatos são projetados pela ciência do design em conformidade com as conjecturas teóricas fundamentadas pela ciência do comportamento e a avaliação do artefato produzido. Na imagem a direita da Figura 1 pode ser vista a base de conhecimento adquirido ao se fazer uso da metodologia de pesquisa do DSR na busca da solução da pesquisa, e para aquisição do mesmo foram executadas as etapas do DSR, utilizando a abordagem de UCD no referido ciclo e visando identificar (i) necessidades dos usuários; (ii) usuários; (iii) cenários de uso.

O processo de identificar as reais necessidades da pessoa surda no processo de comunicação se deu em dois momentos. No primeiro momento, foi realizada um estudo com 38 educadores (11 intérpretes de Libras e 27 professores) no estado de Santa Catarina no trabalho de (COSTA et al., 2016b), tendo esse se iniciado na pesquisa realizada

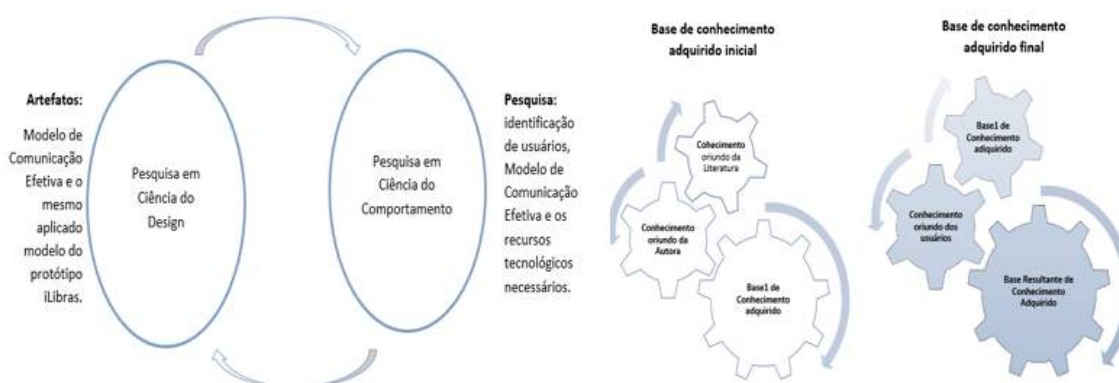


Figura 1. Ciclo do *Design Science Research* e Base de Conhecimento adquirido.

na literatura em (COSTA et al., 2016a). O segundo momento ocorreu após a aplicação de um questionário quantitativo de avaliação, por meio de entrevista aberta. Neste momento, a técnica teve como intuito compreender as particularidades na utilização do sistema pelo usuário. Para tal, foram envolvidos os usuários-chaves da Escola Básica Municipal Leoberto Leal, do município de Blumenau, tais como: a coordenadora de educação da escola e a intérprete de Libras. A coordenadora tem uma visão de todos os interlocutores envolvidos no processo, pelo fato de ser a responsável pelos intérpretes de Libras da Escola do experimento, atuando também como professora e ter em sua sala de aula o aluno surdo. O segundo usuário-chave é a intérprete de Libras, sendo ela responsável pelas atividades do aluno surdo. Assim, foi possível identificar os requisitos funcionais e não funcionais da aplicação, assim como as regras de negócio.

Com relação à identificação dos usuários, embasado nas suas necessidades foi possível identificar três classes de usuários: (i) a classe comunicador: composta pelo aluno surdo, aluno ouvinte e aluno com deficiência auditiva (cDa), que usam o aplicativo para se comunicar, relacionar e interagir; (ii) a classe coordenador: na pessoa da intérprete de Libras, responsável por coordenar quem pode colaborar para a classe comunicador; (iii) a classe cooperador: professor regente da classe, pais, diretores, coordenadora ou qualquer pessoa membro da comunidade que queira colaborar e a intérprete de Libras no papel de coordenadora permita tal cooperação.

No entendimento da visão dos diferentes usuários, suas necessidades e os possíveis cenários de uso, foi utilizada a técnica de *Personas* de design. *Persona* é uma técnica utilizada no UCD, que consiste na criação de perfis e personificação de grupo de usuários. Por meio dessa técnica foram identificados três personas: (i) cooperador: na pessoa da coordenadora e professora regente da sala; (ii) coordenador, na pessoa da intérprete de Libras; (iii) comunicador surdo: aluno surdo que fará uso do aplicativo; (iv) comunicador ouvinte: os alunos que estão na 6ª série da Escola, série essa que o comunicador surdo faz parte; (v) comunicador cDA: aluno com deficiência auditiva que está na mesma série que os comunicadores (iii) e (iv), e irmão gêmeo do aluno surdo. Uma técnica mais utilizada nesta etapa, diz respeito a técnica de Diagrama de Caso de Uso (DCU) de *Unified Modeling Language* (UML). A técnica DCU possibilita se ter uma visão geral das funcionalidades dos sistemas e sua vinculação com os requisitos em forma de casos de uso.

Com relação a colaboração, após a identificação dos usuários e suas necessidades decorrentes das limitações de comunicação da pessoa surda, foi possível identificar a colaboração entre eles e o aplicativo pelo M3C de colaboração. A comunicação ocorre por meio da percepção de outros usuários (chamados aqui de comunicadores) que fazem parte do grupo de “comunicadores” que se comunicam e colaboram com o dicionário iLibras; a coordenação pode ser percebida por meio do gerenciamento dos cooperadores e a cooperação pode ser percebida na criação de forma colaborativa do dicionário iLibras realizada por meio de todos os cooperadores e coordenadores que foram “autorizados” pelo coordenador. No Quadro 2 podem ser vistos alguns dos requisitos do MCE aplicado e sua relação com o M3C de colaboração.

Quadro 2. Alguns requisitos do MCE aplicado ao M3C de colaboração.

Requisitos Funcionais (RF)	Persona MCE	M3C
Incluir palavra nova	Colaborador	Cooperação
Colaborar vídeo Libras	Colaborador	Cooperação
Colaborar imagem escrita de sinais (<i>signwriting</i>)	Colaborador	Cooperação
Colaborar imagem palavra	Colaborador	Cooperação
Colaborar voz palavra	Colaborador	Cooperação
Consultar palavra língua natural (L1)	Comunicador	Comunicação
Autorizar Contato	Coordenador	Coordenação
Requisitos Não Funcionais (RNF)	Persona MCE	M3C
Relacionar aluno-ouvinte	Comunicador	Comunicação
Relacionar intérprete-ouvinte para aprender novas palavras	Comunicador	Comunicação
Relacionar intérprete-ouvinte para entender algum conceito por meio de uma palavra	Comunicador	Comunicação
Relacionar intérprete-ouvinte para compreender ou aprender algum sinal	Comunicador	Comunicação
Relacionar intérprete-ouvinte para entender o conceito por meio da imagem	Comunicador	Comunicação
Relacionar intérprete-ouvinte por vídeo em Libras	Comunicador	Comunicação
Relacionar no ambiente externo a escola	Comunicador	Comunicação
Aprender nova palavra por meio de vídeo, imagem, Libras e escrita de sinais (<i>signwriting</i>)	Comunicador	Comunicação

3.3.2. Ciclo 2 do Design: Ciclo do MCE ou MC

O segundo ciclo do design envolve o MCE, alicerce para o Ciclo 3 do design, que se refere ao Ciclo do Protótipo de Comunicabilidade em conjunto com o M3C de colaboração e dos elementos necessários para a comunicação de pessoas surdas na comunicação. Na busca da solução para apoiar a comunicação da pessoa surda se faz necessário conhecer os fundamentos e conceitos mais importantes abordados na seção 2, assim como precisam ser considerados os cinco parâmetros de configuração de mãos, a saber: configuração de mãos, movimento, direção, ponto de articulação e expressão facial/corporal.

Os parâmetros se relacionam no estudo no que se refere a compreender e identificar os processos comunicacionais por meio das diferentes configurações de mãos na

modalidade de sinais, assim como também entender a importância das diferentes modalidades, Libras e escrita de sinais (*signwriting*). Também se faz necessário considerar alguns pontos mais: (i) influência e “poder” que os dispositivos móveis possuem em atrair e manter pessoas, visto nas seções 1 e 2; (ii) SC; (iii) características da escrita de sinais (*signwriting*) e da Língua de sinais (Libras); (iv) TDIC, TA, TD e os recursos computacionais; (v) acessibilidade comunicacional; (vi) DU, desenho de interação e experiência de interface; (vii) avaliação de acessibilidade comunicacional para dispositivos táteis e para surdo; (viii) avaliação de desenho e alguns outros se faz necessário conhecer, assim como utilizar as devidas técnicas.

Na busca da identificação dos recursos computacionais móveis que apoiem o processo comunicativo da pessoa surda, se faz necessário identificar quais tipos de sistemas de modelos de comunicação que a aplicação faz uso. No presente estudo não será visto o MCE modelado, entretanto, para a pesquisa em questão é importante saber que o fluxo entre os interlocutores (emissor e receptor) da mensagem é bidirecional, ou seja, existe de fato uma comunicação efetiva.

3.3.3. Ciclo 3 do Design: Ciclo do Protótipo de Comunicabilidade (CPC)

O terceiro ciclo do design se refere ao “Ciclo do Protótipo de Comunicabilidade” (CPC). Esse ciclo possibilita avaliar se as interfaces idealizadas estão em conformidade com o MCE modelado e se atendem as necessidades do surdo. A técnica do DP é utilizada no referido ciclo em conjunto com outras técnicas, como as do Design de Interação (DI).

O objetivo deste ciclo é a identificação e avaliação no que diz respeito à interface do design do aplicativo iLibras, a acessibilidade de comunicação do aplicativo como meio de comunicação para o surdo e a sua navegabilidade. A tela inicial do protótipo possibilita ao usuário, das classes comunicador, coordenador e cooperador, como visto na subseção 3.3.2, ter acesso à tela principal do aplicativo iLibras, conforme apresentado na primeira tela da Figura 2. Na tela da referida figura, se tem acesso as principais funcionalidades do aplicativo, como explicitado no Quadro 2.

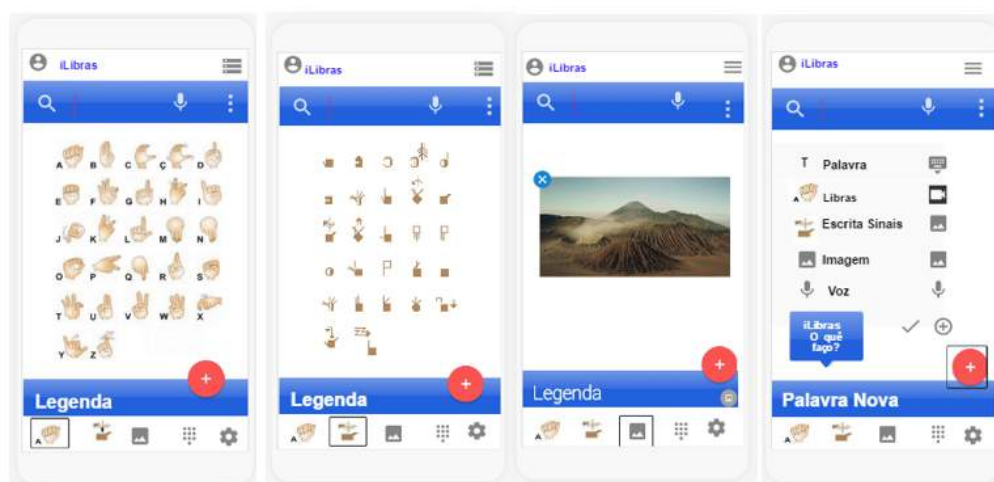


Figura 2. Telas do aplicativo iLibras.

As funcionalidades podem ser divididas em três tipos: (i) pela classe comunicador: se refere se faz necessário fazer uma busca da palavra na língua portuguesa textual e a partir dessa consulta o resultado ser apresentado em diferentes formatos, tais como: vídeo em Libras e legenda em português (primeira tela da Figura 2); tela na escrita de sinais (*signwriting*) (segunda tela da Figura 2); tela da representação da palavra em forma de figura (terceira tela da Figura 2); ela pode ser ouvida pelo ícone localizado na parte superior no canto direito; (ii) pela classe cooperador: o aplicativo iLibras possibilita ao usuário ampliar seu vocabulário e trabalhar de forma colaborativa.

Para se ter acesso a essa tela é necessário ter realizado o *login* e ter perfil de cooperador. O acesso a essa tela pode ser feito de qualquer tela do iLibras, ao “tocar” no ícone “+” que se encontra dentro do círculo vermelho. Sua interface permite incluir nova palavra, conforme mostra a quarta tela da Figura 2. Na referida figura são apresentadas as operações para colaborar com o vídeo em Libras, com a imagem na escrita de sinais (*signwriting*), com a voz e com a imagem que representa a palavra; (iii) pela classe coordenador: o aplicativo possibilita ao usuário da classe coordenador, na *persona* de intérprete de Libras da escola, atribuir o perfil no cadastro do usuário. Somente os usuários com esse perfil e que realizarem o *login* no aplicativo poderão colaborar; (iv) pelas três classes: se referem as demais funcionalidades, conforme Figura 3.

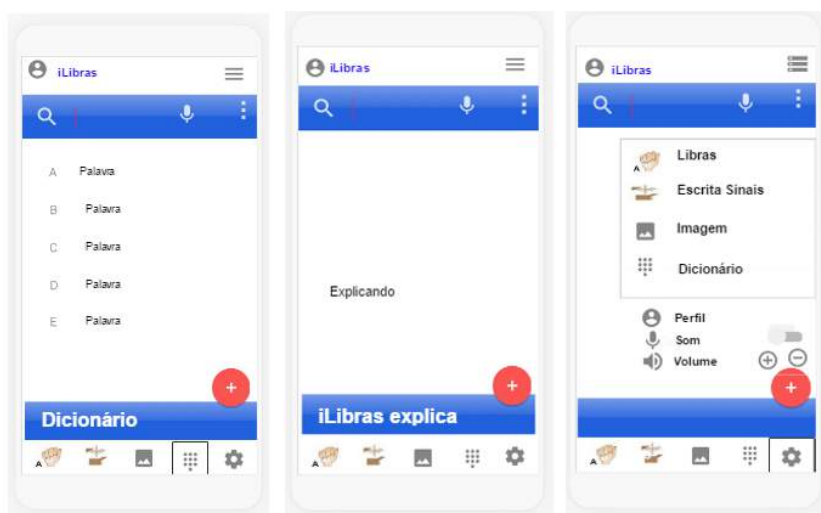


Figura 3. Telas do aplicativo iLibras.

A primeira tela da Figura 3 se refere a pesquisar no dicionário de palavras; a segunda tela se refere a tela explicativa do aplicativo iLibras; e por último a terceira tela, se refere ao menu lateral que pode ser acessado de qualquer tela, tanto pelo ícone “menu” localizado no canto superior direito quanto pelo ícone “configurações” que se encontra no canto inferior direito.

Relacionada com a condução de como ocorreu o processo de busca da solução, foi utilizada a técnica de Oficinas de Cooperação para Definição de Requisitos do DP para incluir o usuário final no processo de design. Foram utilizados os sete passos da técnica de Oficinas de Cooperação para descrever as atividades realizadas, composta por: (i) identificar as partes interessadas; (ii) identificar os problemas e as regras de negócios ou as Classes de Problemas (CP) que precisam ser resolvidas; (iii) formular a equipe; (iv)

definição do escopo de oficinas; (v) validação do ambiente de usuário; (vi) validação da oficina; (vii) validação do escopo com as pessoas interessadas.

No início desse processo foi utilizada a técnica de protótipo visual de baixa fidelidade. Em seguida, foi usado a técnica de protótipo de maior fidelidade, onde se fez uso da ferramenta de prototipação Fluid.ui, explorando as possibilidades de experiência de usuário em conjunto com as técnicas e normas de acessibilidade comunicacional para dispositivos móveis em sistemas colaborativos. Com relação ao Desenho de Interfaces apresentadas, foi realizado um estudo dos requisitos de acessibilidade comunicacional necessários para viabilizar o apoio comunicacional do surdo, havendo uma relação entre interface de usuário, desenho universal (DU) e acessibilidade.

O conceito de DU se refere a atender todos igualmente, sem distinção, trabalhando em conjunto para que todos tenham o melhor acesso (SILVA; OSÓRIO, 2009). Explicitando esse pensamento, desenvolver de forma que a pessoa com surdez tenha condições de interagir e aprender, assim como de ir e vir. O mesmo precisa estar presente desde o momento da concepção do projeto, ou seja, os desenvolvedores precisam conhecer precocemente os requisitos de acessibilidade, assim como a relação de experiência de usuário, DU e acessibilidade; pelas intersecções de cada uma das referidas áreas. Nesse sentido, foi utilizada a técnica de pesquisa das referências na literatura, relacionadas de forma direta a acessibilidade comunicacional do surdo.

Nesse sentido, foi utilizada a técnica de pesquisa das referências na literatura, relacionadas de forma direta à acessibilidade comunicacional do surdo. Houve casos de recomendações que estavam em mais de um trabalho, nesse caso, a técnica do estudo que estava redundante era excluída. As telas idealizadas na primeira fase do ciclo 3 do desenho foram projetadas e avaliadas em um segundo momento por 5 especialistas, a saber, (i) 2 especialistas em Engenharia de *Software* (ES), sendo 1 deles na área de SC; (ii) 1 especialista em educação de pessoa com surdez; (iii) 2 especialistas da escola onde está sendo realizado o experimento: 1 no papel de professor e coordenador das intérpretes em Libras e a intérprete de Libras.

A técnica de Oficina do DP possibilitou identificar duas situações que não estavam contempladas no aplicativo iLibras: (i) ter um campo que contemple o contexto ou significado da palavra na língua brasileira; (ii) ter busca da palavra pelo sinal. Esses foram os dois pontos que a solução prevista não contemplava. Encerrando desta forma o 3 ciclo do *design*.

3.4. Avaliação

As avaliações para os ciclos de busca da solução (subseção 3.3), são resultantes dos artefatos dos ciclos de design, sendo eles: o MCE e o MCE aplicado aos protótipos de telas do aplicativo iLibras. A avaliação consistiu em avaliar o uso das telas na experiência de usuários, a acessibilidade comunicacional e a navegabilidade de dispositivos móveis para pessoas com surdez. Foram utilizadas as técnicas de “Pesquisa exploratória”, “Modelo de Avaliação visando acessibilidade de pessoa com surdez”, “protótipo de alta fidelidade” para construção das telas e da navegabilidade do aplicativo e “Entrevista Aberta”.

Nesse contexto, foi utilizada a técnica de “Avaliação de questionário quantitativo” com respostas “Sim” ou “Não”, fazendo uso de imagens ao invés de texto pelos estudos realizados (subseção 3.3.3). O questionário utilizado nesta avaliação foi composto por 12 perguntas de forma desenho, com perguntas do tipo “Sim” ou “Não”, disponibilizados

para os papéis (seção 3.3.3). A Figura 4 apresenta na sua totalidade as questões, bem como o resultado da aplicação da avaliação. A técnica de Oficina do DP possibilitou identificar duas situações que não estavam contempladas no aplicativo iLibras: (i) a primeira diz respeito a ter um campo que contemple o contexto ou significado da palavra na língua brasileira; (ii) ter busca da palavra pelo sinal. Esses foram os dois pontos que a solução prevista não contemplava, encerrando, o ciclo 3 do design. A técnica de “Avaliação de Questionário Quantitativo”, com resposta “Sim” ou “Não”, possibilitou avaliar a acessibilidade comunicacional e a experiência de usuário na pessoa dos especialistas.

Algumas das recomendações adotadas estão relacionadas com a realização de questionários na avaliação para experiência de usuário em aplicativos móveis para surdos, tais como: (i) planejar com foco na acessibilidade; (ii) focar na experiência de usuário; (iii) definir papéis para o time de avaliação; (iv) elaborar e aplicar questionários voltados à acessibilidade; (v) uso de tecnologias de suporte à observação. A avaliação da acessibilidade comunicacional é encontrada na intersecção das áreas de interface de usuário, desenho universal e acessibilidade do Desenho de Interface.

A avaliação de acessibilidade comunicacional foi aplicada para 5 especialistas, sendo 2 deles especialistas no Registro dos resultados obtidos sobre oportunidades no uso de dispositivos móveis para facilitar a comunicação da pessoa surda ou usuário de Libras, e os outros 3 especialistas da educação, sendo 2 deles da educação da pessoa surda. Outro ponto identificado no estudo diz respeito que o questionário deve ser aplicado primeiro com intérprete de Libras ouvinte, devido a percepção da mesma ser diferente de uma intérprete de Libras com surdez. Com relação a elaborar e aplicar questionários voltados para acessibilidade comunicacional da pessoa surda, foi identificado que o questionário para pessoas surdas e ouvintes não devem ser o mesmo no sentido de escrita das perguntas, e as respostas devem fazer uso de *emotion* em Libras ao invés de texto.

Em relação a resposta, o presente estudo optou por usar *emotions* também no questionário de ouvinte, pelo fato de o mesmo ser aplicado em especialistas das áreas da ES, educação e educação especial, o que possibilitou avaliar com os especialistas de Libras as imagens adotadas no questionário em Entrevista Aberta após a validação dos mesmos no uso do protótipo iLibras e da aplicação do questionário quantitativo. Dos 3 especialistas de acessibilidade comunicacional do surdo, dois são especialistas da escola onde experimento está sendo realizado e a outra é uma especialista de Libras externa a escola. Dentre eles, 100% responderam “Sim” para todas as questões avaliadas. O gráfico da Figura 4 apresenta as 12 perguntas realizadas, assim como um comparativo das respostas afirmativas e das negativas.

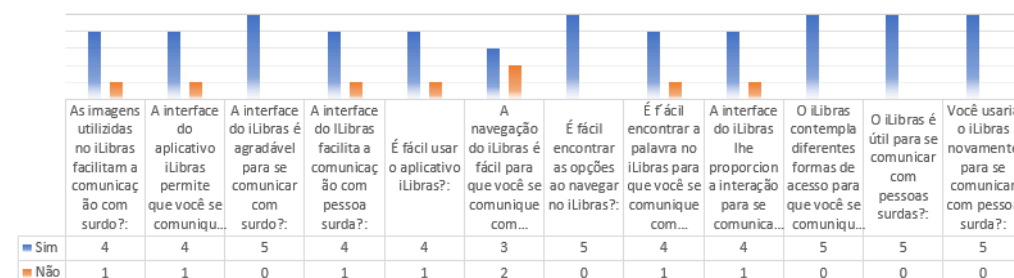


Figura 4. Resultado de avaliação de acessibilidade comunicacional.

No que se refere aos especialistas de ES, as questões relacionadas com a acessibilidade comunicacional dos surdos tiveram respostas “Não”. De acordo com eles, isso ocorreu por não serem especialistas da educação na área comunicacional do surdo, questões essas que serão avaliadas. A questão referente se é fácil usar o aplicativo foi respondida que “Não” por um especialista de ES. De acordo com esse especialista, sua avaliação negativa ocorreu pelo fato de ele não estar familiarizado com os símbolos de Libras e escrita de sinais (*signwriting*). É importante ressaltar que a verificação, validação e avaliação do aplicativo iLibras pelos especialistas de ES foram executadas sem nenhum tipo de instrução. As questões foram disponibilizadas e executadas por meio *online* sem nenhum auxílio. Após a execução dos questionários pelos 3 especialistas relacionados com Libras, foi aplicado a técnica de “Entrevista Aberta” para verificar alguma delimitação do aplicativo iLibras não abordada.

4. Considerações finais

Este estudo teve como objetivo apresentar uma abordagem para apoiar a comunicação de pessoas surdas por meio de ferramentas computacionais móveis e colaborativas. Nessa busca, a metodologia de pesquisa de *Design Science Research* (DSR) e Design Participativo (DP) se mostraram adequadas, possibilitando explorar os conhecimentos na busca de melhor compreender os usuários e construir um protótipo do Modelo de Comunicação Efetiva (MCE) aplicado ao iLibras. A pesquisa realizada neste estudo foi de cunho exploratório, pois teve como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema para torná-lo explícito, permitindo a construção de hipóteses ou proposições. Ou seja, a abordagem adotada na pesquisa na busca da solução que resultou em um “MCE modelado aplicado ao aplicativo iLibras” atendeu o presente estudo no sentido de que foi possível verificar o uso do aplicativo quanto a acessibilidade comunicacional da pessoa com surdez e também usuários de Libras, assim como questões de uso do aplicativo iLibras.

Com relação aos trabalhos futuros, conjectura-se detalhar os conhecimentos explorados para melhor compreender os usuários e as tecnologias assistivas para comunicação, assim como detalhar as abordagens e técnicas que guiam a pesquisa a saber, DSR; DP; Design Centrado no Usuário (UCD) e Interação (DI), no que se refere as questões relacionadas com o desenho universal; a acessibilidade e experiência do usuário, tendo em sua interseção a avaliação da acessibilidade comunicacional de pessoa com surdez para dispositivos móveis.

Referências

- ALAN, R. H. V. et al. Design science in information systems research. *MIS quarterly*, Springer, v. 28, n. 1, p. 75–105, 2004.
- COSTA, S. E. d. et al. Uma revisão sistemática da literatura para investigação de estratégias de ensino colaborativo. In: IEEE. *Anais... XVIII Simpósio Brasileiro de Sistemas Colaborativos*. [S.l.], 2016. p. 1537–1548.
- COSTA, S. E. d. et al. Desafios na arte de ensinar inclusiva: A relação professor e intérprete na inclusão do surdo. v. 14, n. 2, 2016. Disponível em: <<http://www.seer.ufrgs.br/renote/article/view/70647>>. Acesso em: 2017-05-09.
- CYBIS, W. d. A. Engenharia de usabilidade: uma abordagem ergonômica. *Florianópolis: Laboratório de utilizabilidade de informática*, 2003.

- DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; JÚNIOR, J. A. V. A. *Design science research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia*. [S.l.]: Bookman Editora, 2015.
- GADAMER, H.-G. *Verdade e método II: complementos e índice*. [S.l.]: Petrópolis: Vozes, 2002. 173–182 p.
- HEVNER, A. R. A three cycle view of design science research. *Scandinavian journal of information systems*, v. 19, n. 2, p. 4, 2007.
- IBGE. *Censo demográfico 2010 - Resultados gerais da amostra*. 2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/resultados/_gerais/_amostra/default_resultados_gerais_amostra.shtm>. Acesso em: 2017-05-10.
- MACHADO, L. D. P. et al. Uma abordagem colaborativa para aprendizagem de programação orientada a objetos. In: IEEE. *XIII Simpósio Brasileiro de Sistemas Colaborativos*. [S.l.], 2016.
- MOURA, E. R. d. S. Uma ferramenta colaborativa móvel para apoiar o processo de ensino-aprendizagem da língua portuguesa para alunos surdos. 78 f. Dissertação (Mestrado em Informática) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2015, 2015.
- NASCIMENTO, G. B.; FORTES, L. de O.; KESSLER, T. M. Estratégias de comunicação como dispositivo para o atendimento humanizado em saúde da pessoa surda. *Saúde (Santa Maria)*, v. 41, n. 2, p. 241–250, 2015. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/index.php/revistasaude/article/view/15121>>. Acesso em: 2017-02-19.
- PIMENTEL, M. et al. Modelo 3c de colaboração para o desenvolvimento de sistemas colaborativo. In: III SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SISTEMAS COLABORATIVOS. *Anais*. [S.l.], 2006. p. 58–67.
- PIMENTEL, M.; GEROSA, M. A.; FUKS, H. Capítulo 5 - sistemas de comunicação para colaboração. In: PIMENTEL, M.; FUKS, H. (Ed.). *Sistemas Colaborativos*. Elsevier Editora Ltda., 2012. p. 65 – 93. ISBN 978-85-352-4669-8. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978853524669850005X>>. Acesso em: 2017-05-10.
- PREECE, J.; ROGERS, Y.; SHARP, H. *Design de interação*. [S.l.]: Bookman, 2005.
- ROSA, A. S. Comunicação: a ferramenta do profissional. *Revista do Núcleo Interdisciplinar de Pesquisa e Extensão do UNIPAM*, n. 6, p. 141–155, 2009. ISSN 1806-6399.
- SILVA, B. D. d.; OSÓRIO, A. J. As tecnologias de informação e comunicação da educação na universidade do minho. *Centro de Competência da Universidade do Minho*, Centro de Competência da Universidade do Minho, p. 9–25, 2009.
- TRINDADE, D. *InCoP: um framework conceitual para o design de ambientes colaborativos inclusivos para surdos e não surdos de cultivo de comunidades de prática*. Tese (Doutorado) — Tese de Doutorado em Informática, Curitiba: Programa de Pós-Graduação em Informática do Setor de Ciências Exatas da Universidade Federal do Paraná, 2013.

THEM: Ferramenta colaborativa para suporte a avaliações de interfaces baseadas na Avaliação Heurística

Francis Santos¹, Glívia A. R. Barbosa¹, Ismael S. Silva¹, Flávio R. S. Coutinho¹

¹ Departamento de Computação – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (DECOM/CEFET-MG). Av. Amazonas, 7675 - Nova Gameleira - Belo Horizonte, MG – Brasil.

francissantos8@gmail.com, gliviabarbosa@decom.cefetmg.br,
ismaelsantana@decom.cefet.br, coutinho@decom.cefetmg.br

***Abstract.** This paper presents THEM, a collaborative solution that seeks to assist in the evaluation process of interfaces based on Heuristic Evaluation. Experiments have shown that THEM is a useful and satisfactory tool for its purpose. Proposing tools such as THEM is relevant because, in addition to automating steps and artifacts during the evaluation of heuristic-based interfaces, it encourages the development and evaluation of other tools that seek to support not only interface evaluation methods, but other processes related to software development.*

***Resumo.** Esse trabalho apresenta a THEM, uma solução colaborativa que busca auxiliar no processo de avaliação de interfaces baseado na Avaliação Heurística. Os experimentos realizados demonstraram que a THEM é uma ferramenta útil e satisfatória mediante o seu objetivo. Apresentar ferramentas como a THEM é relevante porque, além de automatizar etapas e artefatos durante a avaliação de interfaces baseada em heurísticas, incentiva o desenvolvimento e a avaliação de outras ferramentas que buscam suportar não apenas os métodos de avaliação de interface, mas outros processos relacionados ao desenvolvimento de software.*

1. Introdução

O crescente desenvolvimento tecnológico e a demanda por soluções de Tecnologia da Informação (TI) que potencializam a experiência satisfatória dos usuários (do inglês, *User Experience* – UX), têm exigido da Engenharia de Software constantes melhorias em seus processos, métodos e suas técnicas [Chaves, 2010]. Nesse sentido, cada vez mais, as atividades de desenvolvimento de software exigem pessoas treinadas, processos bem definidos e ferramentas adequadas [Chaves, 2010].

Contudo, segundo Chaves (2010) e Pressman (2011), ainda existe uma carência de ferramentas, bem difundidas, em algumas áreas relacionadas à produção de software. Essa carência faz com que algumas etapas do desenvolvimento de software sejam realizadas de forma manual ou com ferramentas inadequadas (e.g., ferramentas não específicas), tornando os processos de desenvolvimento, gestão e qualidade de software menos produtivos e mais propensos a erros [Chaves, 2010][Pressman, 2011].

Uma das etapas do desenvolvimento de software que possuem pouco suporte de ferramentas é a avaliação de interfaces por inspeção. Nessa etapa, o modelo de interface e interação do software desenvolvido é inspecionado e avaliado, sob a perspectiva de

especialistas, para identificar potenciais problemas que os usuários podem experimentar durante a interação com o sistema [Prates e Barbosa, 2003].

Na literatura é possível encontrar métodos de inspeção de interface que focam na avaliação de diferentes qualidades de uso, como a usabilidade (e.g., Avaliação Heurística, Percurso Cognitivo), a acessibilidade (e.g., avaliadores automáticos de acessibilidade – daSilva e Hera) e a comunicabilidade (e.g., Método de Inspeção Semiótica (MIS)) [Prates e Barbosa, 2003][Barbosa e Silva, 2010].

Embora esses métodos não envolvam a participação dos usuários durante sua execução, a aplicação dos mesmos é de extrema importância durante o desenvolvimento de software, uma vez que permitem antecipar e analisar os problemas no projeto de interface que podem afetar diretamente a usabilidade, acessibilidade, comunicabilidade e outras qualidades de uso que impactam na experiência satisfatória do usuário [Prates e Barbosa, 2003].

Um dos métodos de avaliação de interfaces por inspeção mais difundido é a Avaliação Heurística (AH) [Nielsen, 1994]. Por meio desse método, um grupo de avaliadores colabora e julga o modelo de interface e interação de um software a partir de um conjunto de 10 heurísticas de usabilidade. Além disso, segundo seu proponente, o método prevê a possibilidade de incluir novas heurísticas de avaliação ou adaptar as existentes, sejam elas para avaliar a usabilidade ou outras qualidades de uso (e.g., acessibilidade) [Nielsen, 1994].

Apesar de exigir conhecimento dos avaliadores para sua aplicação, o método Avaliação Heurística é considerado didático e de simples execução, o que o torna adequado tanto para ambientes acadêmicos, quanto para ambientes corporativos [Nielsen, 1994][Prates e Barbosa, 2003][Barbosa e Silva, 2010].

Existe uma demanda de ferramentas que auxiliem no processo de execução e análise da Avaliação Heurística [Prates e Barbosa, 2003][Chaves, 2010][Pressman, 2011]. Isso porque, embora seja possível encontrar ferramentas que visam auxiliar à execução de avaliações por inspeção (e.g., APIU [Santos, 2011], ISPIS [Kalinowski et al. 2004], IBIS [Lanubile et al., 2003], MISTool [Jesus e Silva, 2010], Heva [Oeiras et al., 2008]), a maioria delas não apoia ou limita o suporte ao método [Oeiras et al., 2008]. Por exemplo, a ferramenta Heva limita sua execução por meio do navegador Firefox. Isso é um problema porque restringe a execução da Avaliação Heurística apenas para sistemas web [Oeiras et al., 2008].

Considerando a aplicabilidade da Avaliação Heurística, tanto no âmbito acadêmico, quanto no corporativo para avaliar o modelo de interface e interação de sistemas e a demanda por ferramentas que suportem a execução colaborativa desse método, o presente trabalho tem como objetivo apresentar a *Tool for Heuristic Evaluation Methods* (THEM), uma ferramenta colaborativa que auxilia nas avaliações de interfaces baseadas na Avaliação Heurística (AH).

A ferramenta foi desenvolvida de modo que suas funcionalidades contemplassem as principais etapas e artefatos da Avaliação Heurística e que os avaliadores pudessem colaborar durante a avaliação. Finalizado o desenvolvimento, a THEM foi avaliada e os resultados permitiram demonstrar sua utilidade e adequação ao uso na perspectiva de seus usuários.

Desse modo, esse trabalho é relevante porque, além de suportar todas as etapas da Avaliação Heurística e contribuir com a automação de atividades previstas nesse tipo de avaliação (e.g., geração de gráficos e relatórios), a THEM motiva novos trabalhos relacionados que visam desenvolver e delinear as vantagens e desvantagens de ferramentas que suportam a execução dos métodos de avaliação de interface.

2. Trabalhos Relacionados

Na literatura foi possível encontrar trabalhos que apresentam ferramentas para suportar processos de avaliação por inspeção em diferentes perspectivas. Por exemplo, as ferramentas GrIP, IBIS e ISPIS, propostas respectivamente por Halling e outros (2002), Lanubile e outros (2003) e Kalinowski (2004) foram desenvolvidas para apoiar a inspeção de artefatos de software produzidos ao longo de todo o processo de desenvolvimento (e.g., documentação, código fonte, interfaces). Em outras palavras, as ferramentas não foram construídas especificamente para avaliação de interfaces de usuários por inspeção.

No âmbito de softwares para suportar as avaliações de interfaces por inspeção é possível encontrar ferramentas como a TOWABE [Itakura e Vergilio, 2002], SUIIT [Ardito et al., 2006], Heva [Oeiras et al., 2008], APIU [Santos, 2011], MISTool [Jesus e Silva, 2010] e ApplicSIM [Dias e Prates, 2013]. Contudo, a maioria delas não foca nas avaliações por inspeção guiadas por heurísticas, como a Avaliação Heurística.

Por exemplo, as ferramentas TOWABE e SUIIT suportam o processo de inspeção de usabilidade baseado na técnica *Systematic Usability Evaluation* (SUE). Essa técnica guia as atividades dos inspetores por meio de tarefas que descrevem, com precisão, os objetos da aplicação a serem procurados e quais ações devem ser executadas durante a inspeção para análise de tais objetos [Itakura e Vergilio, 2002][Ardito et al., 2006].

Por sua vez, a Ferramenta APIU permite executar a inspeção de usabilidade, independente do método de avaliação. Contudo, os experimentos com a ferramenta indicaram que o principal diferencial da APIU se mostrou um empecilho para sua utilização, já que sua generalidade em relação aos métodos de inspeção a tornaram pouco usual [Santos, 2011]. Nesse sentido, Santos (2011) argumenta sobre a importância de oferecer ferramentas flexíveis, porém que estejam alinhadas com métodos de avaliação por inspeção específicos.

Nessa linha, as ferramentas MISTool [Jesus e Silva, 2010] e ApplicSIM [Dias e Prates, 2013] foram propostas para apoiar a execução do Método de Inspeção Semiótica (MIS). O MIS é um método de inspeção que avalia a comunicabilidade da interface, que não faz uso de heurísticas durante a avaliação [de Souza et al., 2006].

Por sua vez, a ferramenta Heva, apresentada por Oeiras e outros (2008), provê suporte à aplicação da Avaliação Heurística. Segundo Oeiras e outros (2008), a ferramenta foi criada para minimizar a sobrecarga de trabalho que o processo manual de execução do método exige (e.g., obtenção dos dados e consolidação de relatórios). Os experimentos iniciais com a ferramenta apontaram erros e problemas de usabilidade que demandaram correções. Além disso, os autores ressaltaram que a Heva demanda por evoluções, uma vez que está limitada por ser uma extensão do Mozilla Firefox, permitindo apenas a avaliação de aplicações web compatíveis com esse navegador [Oeiras et al., 2008].

A partir dos trabalhos relacionados foi possível constatar que, embora as ferramentas APIU e Heva possam ser utilizadas durante avaliações de interfaces baseadas na Avaliação Heurística, apenas a Heva foi proposta especificamente com essa finalidade. Além disso, a Heva limita sua utilização apenas para a avaliação de sistemas web, compatíveis com o navegador Firefox. Diante desse cenário, o presente trabalho se difere dos demais porque apresenta a THEM, uma ferramenta colaborativa para apoio à aplicação e análise de avaliações de interfaces por inspeção baseadas na Avaliação Heurística. A THEM independe da plataforma do sistema a ser avaliado e auxilia em todo o processo de avaliação, desde a coleta de dados até a geração de relatórios consolidados.

3. Metodologia e Referencial Teórico

Conforme ressaltado por Chaves (2010), para que uma ferramenta auxilie adequadamente uma determinada fase do desenvolvimento de software, a solução proposta precisa ser aderente às atividades e artefatos que essa fase demandam [Chaves, 2010]. Por isso, a metodologia proposta para condução desse trabalho consistiu, inicialmente, em definir os requisitos e a arquitetura da ferramenta THEM.

Os requisitos foram identificados a partir da especificação do método Avaliação Heurística, que fundamenta o fluxo de execução da ferramenta, e foram validados por 05 especialistas com mais de 10 anos de experiência na execução desse método. Na sequência, a THEM foi desenvolvida a partir dos requisitos levantados e da arquitetura definida. Posteriormente a ferramenta foi avaliada junto aos seus usuários para verificar sua adequação ao uso por meio de Testes de Usabilidade [Rubin e Chisnell, 2008].

A seguir será apresentado o método Avaliação Heurística, que fundamenta as funcionalidades, bem como o fluxo de execução da ferramenta THEM.

3.1. Avaliação Heurística

Avaliação Heurística é um método de avaliação de interface por inspeção baseada na opinião de especialistas apresentado por Nielsen (1994). Esta avaliação tem como base um conjunto de heurísticas definidas por Nielsen (1994), que estabelecem as características desejáveis para interação com o software e as melhores formas de organização de sua interface para potencializar a usabilidade.

As heurísticas definidas por Nielsen (1994) são: (1) Visibilidade do estado do sistema; (2) Correspondência entre o sistema e o mundo real; (3) Controle e liberdade do usuário; (4) Consistência e padronização; (5) Reconhecimento ao invés de memorização; (6) Flexibilidade e eficiência no uso; (7) *Design* estético e minimalista; (8) Ajudar usuários no reconhecimento, diagnóstico e na recuperação de erros; (9) Prevenção de erros e (10) Ajuda e documentação.

Entretanto, Nielsen (1994) alerta que, diante da evolução tecnológica, as heurísticas utilizadas durante a avaliação podem ser adaptadas e/ou incrementadas conforme o julgamento dos especialistas e a necessidade do domínio da avaliação [Nielsen, 1994][Prates e Barbosa, 2003]. Normalmente, essas heurísticas são adaptadas conforme os domínios dos softwares analisados (e.g., interfaces de sistemas web demandam por heurísticas complementares aos sistemas desktop) [Prates e Barbosa, 2003].

O método deve ser executado em 3 etapas de forma colaborativa, Nielsen (1994) recomenda que o processo seja conduzido por três a cinco avaliadores, [Nielsen, 1994][Prates e Barbosa, 2003]. Inicialmente ocorre a etapa de preparação, na qual os avaliadores se familiarizam com o domínio do sistema a ser avaliado, bem como com os usuários que eles devem representar. Nesta etapa, também são organizadas as telas do sistema ou os seus protótipos, bem como as heurísticas a serem utilizadas na avaliação, conforme o escopo delimitado pelos avaliadores [Nielsen, 1994][Prates e Barbosa, 2003].

Em seguida, os avaliadores inspecionam as interfaces em sessões curtas (1 a 2 horas) julgando sua conformidade com as heurísticas de avaliação, procurando por potenciais problemas. Durante a inspeção, para cada problema, os especialistas devem registrar: (1) o local onde foi encontrado, (2) a(s) heurística(s) violada(s) – sendo que o mesmo problema pode violar mais de uma heurística, (3) a justificativa do problema e (4) sua gravidade [Nielsen, 1994][Prates e Barbosa, 2003].

A gravidade (ou severidade) dos problemas encontrados auxiliam no estabelecimento de um custo/benefício da sua correção e na priorização dos esforços para seu reparo ou reprojeto. Segundo Nielsen (1994), esse julgamento envolve os fatores de frequência da ocorrência do problema, o impacto do problema para a experiência do usuário e a persistência do problema no decorrer da interação do usuário.

Nielsen (1994) sugere uma escala de gravidade de 1 a 5, na qual: G1 – Não é um problema; G2 – Problema cosmético; G3 – Problema pequeno; G4 – Problema grande e G5 – Problema catastrófico. Contudo, assim como as heurísticas de avaliação, os níveis de gravidade também podem ser adaptados conforme o escopo da avaliação.

Finalmente, os avaliadores discutem e analisam os problemas identificados de forma consolidada. Ao fim dessa etapa, é gerado um relatório conclusivo, unificado, com todos os problemas encontrados, bem como o parecer dos avaliadores sobre a qualidade de uso (e.g., usabilidade) do sistema [Nielsen, 1994][Prates e Barbosa, 2003].

4. Proposta de uma Ferramenta para Suporte a Avaliações de Interfaces baseadas na Avaliação Heurística

Esta seção apresenta os requisitos que guiaram o desenvolvimento da THEM, bem como sua arquitetura e a ferramenta criada.

4.1. Requisitos e Arquitetura da THEM

Conforme informado anteriormente, a ferramenta aqui proposta tem como objetivo principal suportar as fases e os artefatos gerados durante avaliações de interfaces baseadas no método Avaliação Heurística. Diante desse objetivo, as principais funcionalidades e a arquitetura da THEM foram definidas a partir da descrição da Avaliação Heurística e validadas por 05 especialistas com mais de 10 anos de experiência na execução desse método. Desses especialistas, três executam o método em ambientes corporativos e dois o executam no ambiente acadêmico (i.e., pesquisa e ensino).

A partir desse levantamento foi definido que a THEM deveria contemplar as seguintes funcionalidades: (1) Gerenciar Usuários; (2) Autenticar no Sistema; (3) Gerenciar Projeto; (4) Adicionar Avaliador; (5) Definir Heurísticas da Avaliação; (6)

Estabelecer Níveis de Gravidade; (7) Cadastrar Problema Encontrado; (8) Editar Problema; (9) Visualizar Resumo da Avaliação; (10) Gerar Relatório Individual; (11) Consolidar Projeto e (12) Gerar Relatório Final.

Além disso, seguindo a definição do método, foi definido que o público alvo da ferramenta é representado por qualquer usuário da área de Computação, que deseja executar avaliações de interfaces utilizando métodos baseados na Avaliação Heurística [Nielsen, 1994][Prates e Barbosa, 2003].

Em relação à arquitetura, a ferramenta foi desenvolvida na plataforma Web, utilizando a linguagem de programação C#, o *framework* ASP.NET e o sistema gerenciador de banco de dados MSSQL Server. Essas tecnologias foram adotadas porque são robustas e amplamente utilizadas [Gupta et al., 2012]. Além disso, a THEM segue o padrão arquitetural Model-View-Controller (MVC), que favorece a organização do código e a evolução da ferramenta [Gupta et al., 2012]. A seguir a THEM será apresentada.

4.2. Tool for Heuristic Evaluation Methods (THEM)

A ferramenta THEM contempla um fluxo de execução similar aos passos da Avaliação Heurística. Desse modo, os avaliadores, depois de autenticados na ferramenta, podem acessar os módulos que permitem: (1) criar/gerenciar um projeto de avaliação de interface, (2) gerenciar os avaliadores participantes do projeto, (3) definir as heurísticas e/ou os níveis de gravidade da avaliação, (4) reportar os problemas identificados durante a avaliação e (5) gerar relatórios da avaliação. Além disso, a THEM dispõe de um sistema de ajuda para auxiliar os usuários durante sua utilização.

É importante ressaltar que os módulos da THEM, relacionados a um determinado projeto de avaliação, podem ser acessados conforme a necessidade dos avaliadores, em qualquer ordem, apesar de haver um fluxo de execução sugerido inspirado nas etapas da Avaliação Heurística.

Conforme demonstrado na Figura 1, as primeiras funcionalidades acessadas ao interagir com a ferramenta são a criação e a autenticação de usuários. Uma vez autenticado, o usuário acessa a página de gerência de projetos, conforme ilustrado na Figura 2. Por meio dessa interface, é permitido ao usuário a visualização e o cadastro de projetos de avaliação de interface no sistema, além de gerenciar convites enviados para participação em projetos de avaliação de outros usuários da THEM. Caso o usuário cadastre o projeto de avaliação, ele recebe o *status* de “avaliador moderador” do projeto criado.

Ao acessar um projeto específico, o usuário é direcionado para a interface, “Menu do Projeto”, ilustrado na Figura 3. A partir desse menu é possível personalizar a avaliação de acordo com as necessidades do avaliador (i.e., definir avaliadores, heurísticas, gravidades, bem como registrar os dados da avaliação e gerar relatórios). Nesta interface é permitido o acesso a todas as funcionalidades do sistema em qualquer momento da avaliação.



Figura 1. Página Inicial da THEM

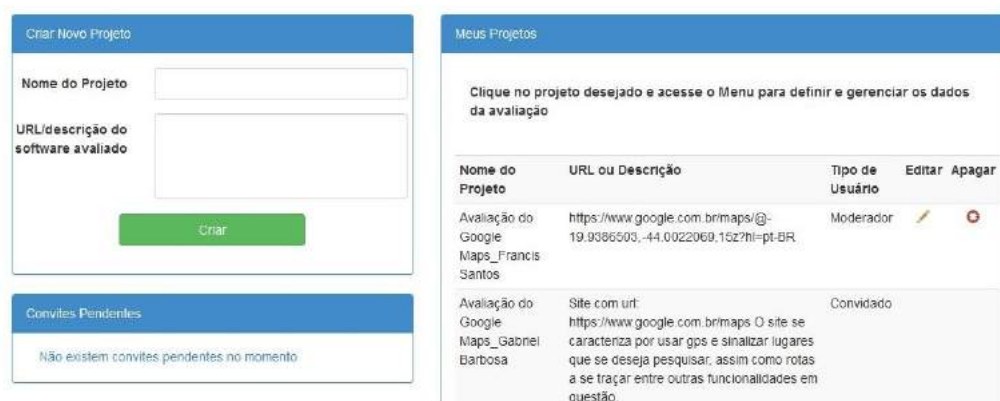


Figura 2. Gerência de Projetos de Avaliação de Interface



Figura 3. Menu de um Projeto de Avaliação de Interface

O módulo “Gestão de Avaliadores”, demonstrado na Figura 4, permite ao avaliador moderador (i.e., avaliador que criou o projeto que está sendo gerenciado), buscar e convidar outros usuários da THEM para compor o seu grupo de avaliadores, bem como gerenciá-los. Todos os avaliadores adicionados ao projeto recebem, automaticamente, o *status* de avaliadores convidados. Para moderar a colaboração, um avaliador convidado não possui acesso aos módulos de “Definição de Heurísticas”, “Definição de Gravidades”, e “Gestão de Avaliadores”, e utilizam de forma controlada o módulo “Avaliação”, não sendo permitido, por exemplo, a remoção ou edição de problemas que não foram cadastrados por ele mesmo.

Dados do Projeto: Nome: Avaliação do Google Maps_Francis Santo URL/ Descrição do Software Avaliado: https://www.google.com.br/maps/@-19.9386503,-44.00226

Procurar Avaliador

Nome ou Email do usuário

Avaliadores Adicionados ao Projeto

Nome	Email	Remover Avaliador do Projeto
Glivia Barbosa	gliviabarbosa@decom.cefetmg.br	<input type="button" value="X"/>
Francis Henrique de Oliveira Santos	francissantos6@hotmail.com	<input type="button" value="X"/>

[← Voltar para Projeto](#)

Figura 4. Gestão de Avaliadores

Definido o grupo de avaliadores do projeto de avaliação, o moderador tem a opção de definir as heurísticas que serão utilizadas durante a avaliação, conforme demonstrado na Figura 5. É importante ressaltar que, ao criar um novo projeto, as heurísticas e as gravidades de Nielsen (1994) são definidas como padrão na THEM para execução da avaliação.

Contudo, a THEM oferece diferentes opções para que as heurísticas utilizadas na avaliação sejam definidas, de modo que, se desejar, o moderador pode remover uma ou mais heurísticas de Nielsen (1994), adicionar novas heurísticas ao projeto, bem como reaproveitar heurísticas criadas em outros projetos de avaliação.

Dados do Projeto: Nome: Avaliação do Google Maps_Francis Santo URL/ Descrição do Software Avaliado: https://www.google.com.br/maps/@-19.9386503,-44.00226

Utilizar Heurísticas de Nielsen

Nome	Incluir
Visibilidade do estado do sistema	<input type="radio"/> Não <input checked="" type="radio"/> Sim
Correspondência entre o sistema e o mundo real	<input type="radio"/> Não <input checked="" type="radio"/> Sim
Controle e liberdade do usuário	<input type="radio"/> Não <input checked="" type="radio"/> Sim
Consistência e padronização	<input type="radio"/> Não <input checked="" type="radio"/> Sim
Prevenção de erro	<input type="radio"/> Não <input checked="" type="radio"/> Sim
Ajuda aos usuários para reconhecerem, diagnosticarem e se recuperarem de erros	<input type="radio"/> Não <input checked="" type="radio"/> Sim
Reconhecimento em vez de memorização	<input type="radio"/> Não <input checked="" type="radio"/> Sim
Flexibilidade e eficiência de uso	<input type="radio"/> Não <input checked="" type="radio"/> Sim
Design estético e minimalista	<input type="radio"/> Não <input checked="" type="radio"/> Sim
Ajuda e documentação	<input type="radio"/> Não <input checked="" type="radio"/> Sim

Heurísticas Personalizadas do Projeto

Nome da Heurística

Descrição

Heurísticas de Outros Projetos

[← Voltar para Projeto](#)

Figura 5. Definição das Heurísticas de Avaliação

Similar à definição de heurísticas, conforme ilustrado na Figura 6, o módulo “Definir Gravidades” permite a determinação das gravidades que serão associadas aos problemas encontrados durante a avaliação. Esse módulo permite a adição, remoção e

edição das gravidades, e contém funcionalidades como o reestabelecimento das gravidades padrão e a ordenação das gravidades, conforme a necessidade do avaliador.

Dados do Projeto: Nome: Avaliação do Google Maps_Francis Santo URL/ Descrição do Software Avaliado: https://www.google.com.br/maps/@-19.9386503,-44.0022

[Recarregar Gravidades Padrão](#)

Escolha abaixo, os níveis de gravidade do projeto "Avaliação do Google Maps_Francis Santos."

Gravidade	Info	Editar	Apagar
Problema Cosmético	1		
Problema Pequeno	3		
Problema Grande	3		
Catástrofe	3		

Você pode reorganizar os níveis de gravidade clicando sobre eles e arrastando-os sobre as linhas da tabela

[Criar Gravidade Personalizada](#)

[Voltar para Projeto](#) [Salvar](#)

Figura 6. Definição das Gravidades da Avaliação

Finalizada a preparação para o projeto de avaliação de interface, os avaliadores podem executar a inspeção guiados pelas heurísticas e registrar os dados da análise utilizando a funcionalidade “Avaliação”, disponível no “Menu do Projeto” na THEM. Conforme demonstrado na Figura 7, esse módulo contém as funcionalidades de cadastro e edição de problemas, visualização do resumo com indicadores da avaliação e consolidação do projeto.

Dados do Projeto: Nome: Avaliação do Google Maps_Francis Santo URL/ Descrição do Software Avaliado: https://www.google.com.br/maps/@-19.9386503,-44.0022

Problemas Identificados

Nome	Quantidade de Heurísticas Violadas	Gravidade	Detalhes	Editar	Apagar
Problema 01 - Falta de Comunicabilidade	2	Problema Grande			
Problema 02 - Link 'Ajuda' escondido	1	Problema Grande			
Problema 03 Mesmo evento de arrastar o mapa, altera a rota	3	Problema Cosmético			
Problema 04 Problema de comunicabilidade	1	Problema Pequeno			
Problema 05 Excesso de informação na tela	3	Catástrofe			
Problema 06 - Problema de comunicabilidade	2	Problema Cosmético			

[Cadastrar Problema](#)

Indicadores da Avaliação

Total de problemas: 6

Total de Heurísticas Violadas nos Problemas 9/10

90%

Detalhes das heurísticas violadas

Visualizar Incidência de Violações das Heurísticas

Visualizar Incidência das Gravidades nos Problemas

[Relatório](#)

[Voltar para Projeto](#) [Encerrar esta Avaliação](#)

Figura 7. Módulo: “Avaliação de Interface”

O cadastro e a edição dos problemas são realizados por meio da interface ilustrada na Figura 8. A partir dessa interface os avaliadores informam o nome, a descrição e a gravidade do problema, as heurísticas violadas, bem como sua localização. A localização do problema é especificada por meio do *upload* de uma imagem que evidencia o local onde a violação se encontra.

Cadastro de Problema

Dados do Problema

Nome do Problema: *

Descricao: *

Gravidade do Problema: *

Heurísticas Violadas: * Selecionar Heurísticas (0)

Localização do Problema: *

- Visibilidade do estado do sistema
- Correspondência entre o sistema e o mundo real
- Controle e liberdade do usuário
- Consistência e padronização
- Prevenção de erro
- Ajuda aos usuários para reconhecerem, diagnosticarem e se recuperarem de erros
- Reconhecimento em vez de memorização
- Flexibilidade e eficiência de uso
- Design estético e minimalista
- Ajuda e documentação

O sistema deve utilizar linguagem, palavras, frases e conceitos familiares ao usuário ao invés de termos orientados pela linguagem do sistema. Deve seguir convenções mundiais, fazendo com que as informações apareçam em uma ordem lógica e natural

Calcular Problema

Figura 8. Cadastro de Problema na Interface

A visualização do resumo da avaliação é viabilizada por meio do bloco “Indicadores da Avaliação”. Esse bloco possui dados e gráficos dinâmicos que indicam o total de problemas encontrados, o total de heurísticas violadas, a incidência da violação das heurísticas nos problemas e a incidência das gravidades nos problemas. Segundo os especialistas em avaliações de interfaces baseadas na Avaliação Heurísticas, esses dados são úteis para a análise e consolidação dos problemas [Nielsen, 1994][Prates e Barbosa, 2003].

A consolidação do projeto é feita pelo moderador, por meio da revisão dos problemas cadastrados pelos demais avaliadores. Para isso, o moderador deve observar os problemas no bloco “Problemas Identificados” e, removê-los ou alterá-los, observando questões como relevância e duplicidade. É importante salientar que, a ferramenta suporta a execução de avaliações de maneira colaborativa, de forma que todos os avaliadores visualizam os problemas cadastrados simultaneamente, ficando a cargo dos mesmos a verificação de duplicidades antes da inserção de problemas para reduzir o trabalho do moderador na consolidação do projeto.

A THEM possui ainda um módulo para personalizar e exportar o relatório da avaliação. Esse módulo pode ser acessado a qualquer momento pelo “Menu do Projeto” ou selecionando a opção “Relatório” na interface da “Avaliação” (Figura 7). Conforme demonstrado na Figura 9, além de apresentar os dados, bem como os problemas reportados durante a inspeção, o relatório final também pode ser complementado por meio de seções editáveis (e.g., Introdução; Resultados da Avaliação; e Conclusão). Além dessa possibilidade de personalização, utilizando a ferramenta, também é possível editar o relatório final depois de exportado, uma vez que ele é gerado em um formato de arquivo susceptível a tais alterações nos editores de textos (i.e., editores compatíveis com o formato docx). Um vídeo demonstrando as funcionalidades da THEM está disponível em: <<https://youtu.be/GFMunHvjzrk>>.

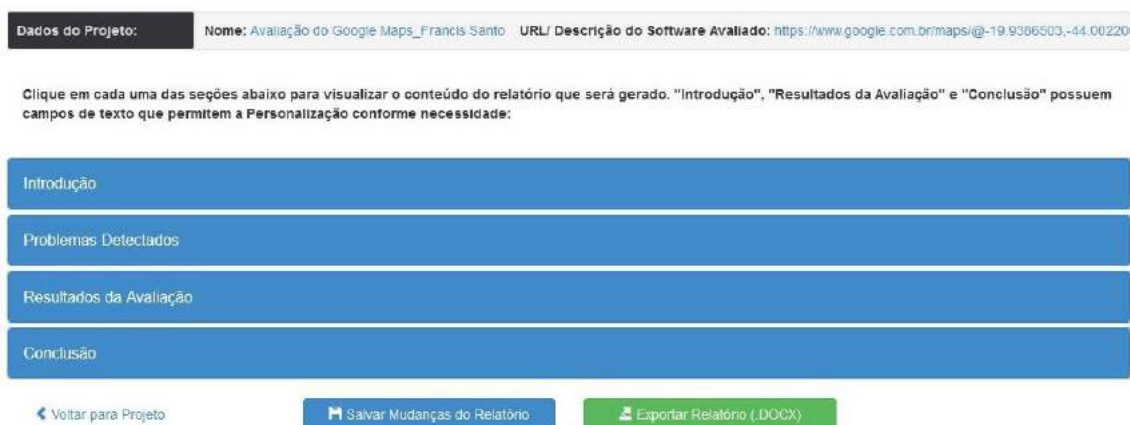


Figura 9. Relatório da Avaliação

Finalizado o desenvolvimento da THEM foi possível compará-la com as ferramentas similares encontradas na literatura. As ferramentas foram comparadas em relação aos parâmetros apresentados por Santos (2011), que buscam caracterizar e qualificar ferramentas que visam suportar avaliações por inspeção no desenvolvimento de software. Tabela 1 sumariza a comparação entre a THEM e as ferramentas similares.

Tabela 1. Comparativo entre a THEM e outras ferramentas.

Parâmetro	TOWABE	SUIT	APIU	MISTool	AplicSIM	HEVA	THEM
Foco da Inspeção	Apenas Interfaces de Software Web	Apenas Interfaces de Software Web	Apenas Interfaces de Software Web	Interfaces de Software independente da plataforma	Interfaces de Software independente da plataforma	Apenas Interfaces de Software Web	Interfaces de Software independente da plataforma
Independência do Método de Inspeção	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não
Método de inspeção suportado	Checklist, SUE	Checklist, SUE	Todos	MIS	MIS	AH	AH
Voltado para as necessidades do método	Sim	Sim	Não	Sim	Sim	Sim	Sim
Apoio a todo o processo	Não	Sim	Sim	Não	Não informado	Não	Sim
Geração de Relatórios	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Sim	Sim
Executada em diferentes plataformas	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Não	Sim
Suporte a Colaboração	Não informado	Não informado	Não informado	Não	Não	Não	Sim

A partir da Tabela 1 é possível perceber que THEM é a única ferramenta que explicitou o suporte a colaboração. Além disso, é a única ferramenta que suporta avaliações de interfaces baseadas na Avaliação Heurística (AH), que não apresenta restrições no tipo de interface a ser avaliada e auxilia em todo o processo de execução focando nas necessidades específicas do método (e.g., geração de indicadores

personalizados e relatórios). De forma complementar, por ser uma ferramenta Web, a THEM pode ser executada em diferentes sistemas operacionais. A seguir são apresentados os resultados do experimento que buscou avaliar a ferramenta THEM.

5. Avaliação da THEM

A THEM foi avaliada na perspectiva dos usuários por meio de um Teste de Usabilidade. Esta técnica consiste em um método de avaliação de usabilidade que envolve a participação de usuários e prevê as seguintes fases: preparação, execução e análise [Prates e Barbosa, 2003][Rubin e Chisnell, 2008].

A fase de preparação é subdividida nas etapas de: (1) determinação dos objetivos do teste; (2) definição das tarefas que serão executadas; (3) seleção dos participantes; (4) considerações sobre os aspectos éticos; e (5) execução do teste piloto. Essas etapas geram artefatos que são posteriormente utilizados durante o passo de execução do Teste de Usabilidade [Prates e Barbosa, 2003][Rubin e Chisnell, 2008].

A execução representa a fase em que ocorre a avaliação da usabilidade do sistema sob a perspectiva dos usuários. O avaliador conduz essa fase, seguindo os seguintes passos: (1) recebimento do usuário; (2) apresentação do sistema; (3) consentimento formal dos usuários, utilizando para isso o termo de consentimento; (4) questionamento pré-teste; (5) observação das tarefas executadas pelos usuários e (6) entrevista pós-teste. Já na terceira fase do método, os dados coletados são analisados pelos avaliadores [Prates e Barbosa, 2003][Rubin e Chisnell, 2008].

Para avaliar a usabilidade da THEM o Teste de Usabilidade foi conduzido com a participação de seis usuários que possuem formação superior na área da Computação e, pelo menos, 1 ano de experiência em avaliações de interfaces baseadas na Avaliação Heurística. Essa quantidade de usuários se justifica, uma vez que, segundo Nielsen (2000), testes de usabilidade devem ser executados por 3 a 5 usuários.

Em relação às tarefas, os usuários interagiram com os principais cenários de interação da THEM. Os cenários considerados foram: (T1) criar uma conta de usuário, (T2) efetuar *login*, (T3), criar um projeto de avaliação, (T4) convidar avaliadores/colaboradores para executar a avaliação, (T5) definir as heurísticas da avaliação, (T6) definir as possíveis gravidades para caracterizar os problemas identificados na avaliação, (T7) registrar dados da avaliação, (T8) gerar relatório da avaliação e (T9) exportar relatório da avaliação.

Para cada tarefa executada por um usuário, o avaliador observava e registrava como a tarefa era concluída (i.e., concluída sem erro, concluída com erro ou não concluída). Não era permitido ao longo da execução que o avaliador respondesse a perguntas referentes à interface ou a alguma funcionalidade da THEM. Este tipo de pergunta seria respondido somente no período após cada tarefa, quando também seriam discutidas as dúvidas, dificuldades e sugestões dos usuários. Cada teste foi executado em, no máximo, uma hora.

A partir dos dados obtidos, os resultados foram analisados de forma a caracterizar os indicadores de conclusão das tarefas pelos usuários e o grau de adequação da THEM aos princípios de usabilidade. Por meio dessas medidas foi possível caracterizar a usabilidade da THEM na perspectiva de seus usuários. Os resultados obtidos são discutidos a seguir.

5.1. Resultados da Avaliação da THEM

Em relação à execução das tarefas, o gráfico da Figura 10 demonstra o percentual de conclusão de cada tarefa. É possível perceber que 88% das tarefas foram concluídas por todos os usuários, sendo que dessas, apenas 37% foram concluídas com erros por apenas 1 usuário, cada. Além disso, apenas a tarefa T4, deixou de ser concluída por um dos usuários.

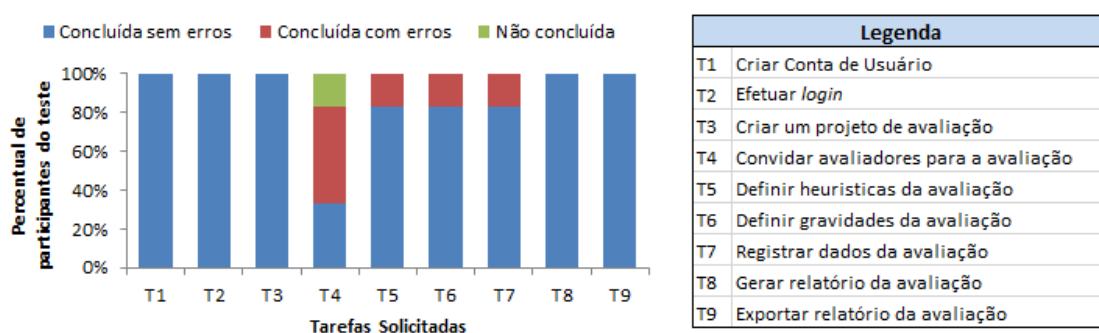


Figura 10. Percentual de conclusão das Tarefas pelos Usuários

Finalizadas as tarefas, cada usuário foi convidado a julgar a adequação de uso da THEM sob a perspectiva dos sete princípios de usabilidade apresentados por Nielsen (1994). Para cada atributo, o participante deveria indicar se a THEM o atendia completamente, parcialmente, não atendia ou não se aplicava. A Figura 11 sumariza o resultado dessa apreciação.

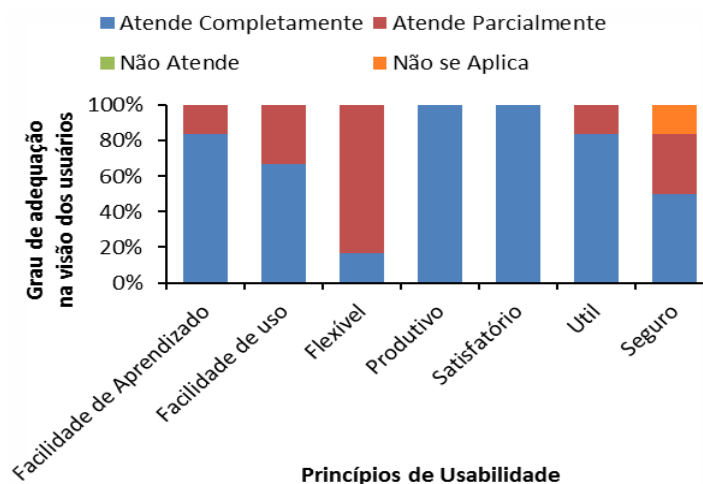


Figura 11. Grau de Adequação da THEM aos princípios de usabilidades na visão dos usuários

A partir da Figura 11 é possível perceber que na visão de, pelo menos, 80% dos usuários a THEM atende (parcialmente ou completamente) todos os princípios de usabilidade, sendo que, nenhum princípio foi indicado como violado (i.e., não atendido pela interface) e apenas 1 usuário indicou o princípio “Segurança”, como não aplicável ao contexto de usabilidade da ferramenta.

O princípio flexibilidade foi o que apresentou menor adequação total na visão dos usuários. Uma possível justificativa para essa percepção refere-se ao fato da THEM

ter sido baseada no método Avaliação Heurística (Nielsen, 1994), principal método de avaliação por inspeção guiada por heurísticas, que segue um processo sequencial para execução de suas tarefas. Contudo, será avaliada a viabilidade de melhorar a flexibilidade da THEM.

Por outro lado, pelo menos 80% dos participantes indicaram que a THEM atende completamente os princípios de facilidade de aprendizado, produtividade, satisfação e utilidade. Esses resultados reforçam a relevância da ferramenta mediante seu propósito, sobretudo na utilidade e produtividade. Isso porque, ao ser caracterizada a partir desses dois princípios é possível reforçar o argumento de que a THEM, de fato, auxilia os usuários no processo de avaliação de interface por inspeção baseadas na Avaliação Heurística. Conclui-se então que, apesar das demandas por ajustes, a THEM está adequada ao uso de seus usuários.

6. Conclusões e Trabalhos Futuros

Esse trabalho apresentou a THEM, uma solução colaborativa que busca auxiliar no processo de avaliação de interfaces baseado na Avaliação Heurística. Em termos de resultados, além de apresentar uma análise comparativa que destaca o diferencial da THEM em relação às ferramentas existentes, o Teste de Usabilidade demonstrou que a THEM é uma ferramenta útil e satisfatória, na perspectiva de seus potenciais usuários.

Esse trabalho é relevante porque, além de suportar todas as etapas da Avaliação Heurística e contribuir com a automação de atividades previstas nesse tipo de avaliação (e.g., geração de gráficos e relatórios), a THEM permite que os avaliadores adaptem o conjunto de heurísticas e os níveis de gravidade, para cada avaliação. Esses recursos caracterizam a THEM como uma ferramenta extensível que pode ser adotada em diferentes tipos de avaliações de interfaces guiadas por heurísticas.

Além disso, a THEM motiva novos trabalhos relacionados que visam desenvolver e delinear as vantagens e desvantagens de ferramentas que suportam a execução dos métodos de avaliação de interface. De forma complementar, o levantamento das ferramentas similares também é relevante, uma vez que permite uma melhor reflexão para a escolha da ferramenta mais adequada para as diferentes abordagens de avaliação por inspeção.

Uma vez que o presente trabalho avaliou a THEM em relação a sua adequação ao uso (i.e., usabilidade) na perspectiva dos usuários, uma direção futura interessante consiste em executar experimentos que permitam caracterizar melhor a eficiência e eficácia da THEM em relação às ferramentas existentes.

Referências

- Ardito, C. et al. A tool to support usability inspection. Proceedings of the working conference on Advanced visual interfaces - AVI'06, p. 278–281, 2006.
- Barbosa, S. D. J. e Silva, B. S. da. Interação humano-computador. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.
- Chaves, G. L. DE M. 2010. Desenvolvimento de software com ferramentas livres e de baixo custo: metodologia e estudo de caso. Cad. CPqD Tecnologia, v. 6, n. 1, p. 57–64, 2010.

- de Souza, C. S., Leitão, C. F., Prates, R. O., and da Silva, E. J. 2006. The semiotic inspection method. In: Proc. of IHC'06, p. 148-157.
- Dias, J. S. e Prates, R. 2013. O. Suporte à aplicação do método de inspeção semiótica por uma ferramenta online. In: Proc. of the 12th IHC, 2013.
- Gupta, P., Toledo, R. M. e Monger M. 2012. Utilizing ASP.NET MVC in web development courses. J. Comput. Sci. Coll. 27, 3 (January 2012), 10-14.
- Halling, M.; Biffi, S. e Grünbacher, P. 2002. A groupware-supported inspection process for active inspection management. Conference Proceedings of the EUROMICRO, p. 251–258, 2002.
- Itakura, F. T. e Vergilio, S. R. 2002. TOWABE – Uma Ferramenta para Avaliação de Usabilidade em Aplicações para Web. Simpósio Brasileiro de Engenharia de Software, p. 462–467, 2002.
- Jesus, A. M. de. e Silva, E. J. da. 2010. MISTool : um ambiente colaborativo de apoio ao Método de Inspeção Semiótica. In Proc. of IHC '10, p. 217–220, out. 2010.
- Kalinowski, M.; Spínola, R. O. e Travassos, G. H. 2004. Infra-estrutura Computacional para Apoio ao Processo de Inspeção de Software. In Proc. of Simpósio Brasileiro de Qualidade de Software, p. 15, 2004.
- Lanubile, F.; Mallardo, T. e Calefato, F. 2003. Tool support for geographically dispersed inspection teams. Software Process Improvement and Practice, v. 8, n. 4, p. 217–231, 2003.
- Nielsen., J. 2000. Why you only need to test with 5 users. 2000. Available in: <<https://goo.gl/qik9ZN>>. Last access: Mar – 22, 2017.
- Nielsen, J. Heuristic evaluation. In: Nielsen, J. and Mack, R. L. (Eds.). Usability inspection methods. New York: John Wiley & Sons, 1994. p. 25–62.
- Pressman, R. S. Engenharia Software Pressman. 7a ed. São Paulo: Makron Books, 2011.
- Prates, R. O e Barbosa, S. D. J. 2003. Avaliação de Interfaces de Usuário - Conceitos e Métodos. Jornada de Atualização em Informática (JAI), XXIII Congresso da SBC, 2003.
- Oeiras, J. Y. Y., Bentolila, D. L. M. e Figueiredo, M. C. 2008. Heva: Uma Ferramenta de Suporte à Avaliação Heurística para Sistemas Web. In Proc. of VIII IHC' 08.
- Rubin, J. e Chisnell, D. 2008. Handbook of usability testing: how to plan, design and conduct effective tests. John Wiley & Sons (2008)
- Santos, F. H. O. dos. 2011. Apoio ao processo de inspeção de usabilidade para aplicações de software. Dissertação (Mestrado em Informática). Manaus: Universidade Federal do Amazonas, 3 mar. 2011.

Tenebris: Um Sistema de Recomendação de Obras Acadêmicas baseado em Filtragem Híbrida

Tenebris: A Recommendation System for Academic Papers based in Hybrid Filtering

Fábio S. Silva¹, Leticia C. Passos¹, Lucas Gabriel C. Evangelista¹ e Thiago M. Rocha²

¹Escola Superior de Tecnologia (EST) – Universidade do Estado do Amazonas(UEA)
Av. Djalma Batista – 3578, Flores – Manaus, AM – Brasil.
Caixa postal: 69055-035

²Samsung Ocean Center – Samsung
Av. Djalma Batista – 1200, Flores – Manaus, AM – Brasil.
Caixa postal: 69055-035

{fssilva, lgce.eng, lcps.eng}@uea.edu.br, tm.uea.2014@gmail.com

Abstract. *With the diversity of information, content, products and services currently available, the search for items that are of interest to the user became a chore. This article presents a proposal for a Recommender System of academic itens, based on a hybrid recommendation approach, which aims to facilitate access to academic itens and support the research of the teachers and students.*

Resumo. *Com a diversidade de informações, conteúdos, produtos e serviços disponíveis atualmente, a busca por itens que sejam de interesse do usuário tornou-se uma tarefa árdua. Este artigo apresenta a proposta de um Sistema de Recomendação de obras acadêmicas baseado em uma abordagem de recomendação híbrida que visa facilitar o acesso a itens acadêmicos e apoiar a pesquisa de professores e alunos.*

1. Introdução

A evolução tecnológica tem contribuído para que cada vez mais os usuários tenham acesso a um grande volume de informações, conteúdos, produtos, e serviços. Consequentemente, torna-se uma tarefa árdua para um usuário escolher uma opção entre as várias disponíveis. De acordo com [Baeza-Yates and Ribeiro-Neto 1999], este problema é conhecido na literatura como Sobrecarga de Informação e tem motivado o desenvolvimento de ferramentas para facilitar o acesso pelos usuários.

No ambiente acadêmico também ocorre o problema da Sobrecarga de Informação, pois uma diversidade de obras acadêmicas é produzida por instituições de ensino e pesquisa. Neste contexto, na Universidade do Estado do Amazonas (UEA), é produzido um grande volume de obras acadêmicas. No entanto, seus professores, alunos e pesquisadores ainda não dispõem de uma ferramenta que possa facilitar o acesso as obras acadêmicas produzidas pela instituição. Vale ressaltar que ferramentas de apoio à pesquisa, normalmente, são disponibilizadas em bibliotecas digitais e portais de universidades para que os acadêmicos possam realizar buscas por obras acadêmicas, contudo essas ferramentas raramente empregam abordagens de acesso personalizado e com recomendação.

Para contextualizar, a Universidade de São Paulo (USP), por exemplo, possui o portal de teses [USP 2017]. Já a Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) possui a Biblioteca Digital de Teses e Dissertações [UFMG 2017]. O Portal de Periódicos CAPES/MEC [MEC 2017] disponibiliza ferramentas de busca de obras acadêmicas e periódicos em repositórios diversos, entretanto nenhum dos ambientes de pesquisa oferece recomendação de obras acadêmicas. Adicionalmente, a UEA possui um sistema Web que permite acesso ao acervo da biblioteca [UEA 2017], livros e revistas, contudo as obras acadêmicas produzidas na própria universidade como TCCs e artigos não estão disponibilizadas.

Desta forma, diante do problema supracitado relacionado à Sobrecarga de Informação no âmbito acadêmico, especialmente na UEA, foi realizado um projeto de pesquisa que visou desenvolver uma ferramenta de acesso a trabalhos acadêmicos. Tal ferramenta foi implementada por meio um Sistema de Recomendação de obras acadêmicas que emprega técnicas de filtragem de informação. Este artigo está organizado da seguinte forma: Na Seção 2 são descritos os principais conceitos e técnicas empregadas no trabalho; A Seção 3 apresenta uma análise dos trabalhos relacionados; A Seção 4 detalha o desenvolvimento da solução proposta; Na Seção 5 são descritos os testes e resultados obtidos; e na Seção 6 é descrito a conclusão do artigo.

2. Fundamentação Teórica

Nesta seção são descritos os principais conceitos e técnicas que serviram de base para o desenvolvimento deste trabalho.

2.1. Sistemas de Recomendação

Segundo [Adomavicius and Tuzhilin 2005], os Sistemas de Recomendação podem ajudar o usuário a lidar com o problema da sobrecarga de informação, sendo este um tema que tem despertado grande atenção da comunidade acadêmica que se reúne em importantes eventos relacionado ao tema como [Geva and Trotman 2014] e [Kobsa and Zhou 2014]. Além disso, grandes empresas como Amazon (em [Linden et al. 2003]), Netflix (em [Zhou et al. 2008]) e Google (em [Das et al. 2007]), estão investindo no emprego de sistemas de recomendação para obter diferencial competitivo em seus serviços.

Sistemas de recomendação tradicionais filtram itens relevantes de acordo com os interesses de um usuário ou de um grupo de usuários levando em consideração a similaridade entre os perfis de usuários ou entre os conteúdos e perfil do usuário. Tais sistemas estão sendo utilizados em vários domínios de aplicações, onde os itens recomendados podem ser programas de TV, livros, músicas, filmes, notícias, vídeos, anúncios, serviços, links patrocinados, páginas da web, produtos de uma loja virtual, etc [Jiangshan et al. 2010], [Silva 2011].

2.2. Técnicas de Filtragem de Informação

Os Sistemas de Recomendação são baseados em técnicas de filtragem de informação oriundas da área de Recuperação de Informação (RI). Segundo [Silva 2011], as principais técnicas são: Filtragem Baseada em Conteúdo (FBC), Filtragem Colaborativa (FC) ou Híbrida (FH).

2.2.1. Filtragem Baseada em Conteúdo (FBC)

Esta é uma técnica de filtragem de informação que consiste em comparar o conteúdo das descrições de itens com o conteúdo das preferências especificadas em um perfil do usuário, com o objetivo de selecionar os itens relevantes para o usuário baseado na similaridade entre eles. Em uma variação da técnica é possível filtrar itens para o usuário baseado na similaridade entre os itens pois os usuários tendem a interessar-se por itens semelhantes aos que foram anteriormente demonstrado interesse. As preferências podem ser fornecidas explicitamente pelo próprio usuário ou obtidas implicitamente por meio do monitoramento das ações do usuário enquanto o mesmo interage com o sistema.

A FBC pode ser implementada por meio da técnica de Indexação de Frequência dos Termos (IDF) e, também, por meio do Modelo do Espaço Vetorial (MEV) descritos em [Baeza-Yates and Ribeiro-Neto 1999], onde os itens e o perfil do usuário são representados por meio de vetores com uma dimensão para cada termo que ocorre no documento. Adicionalmente, uma vez definidas as dimensões, é necessário atribuir valores para eles. Assim, cada componente do vetor corresponde a frequência que um termo (TF) ocorre em um documento ou em um perfil de usuário e, deste modo, é possível empregar o cálculo do *Cosseno* entre o ângulo dos vetores para obter o grau de similaridade. Os itens cujos conteúdos forem mais similares ao conteúdo de um determinado perfil de usuário são considerados relevantes [Adomavicius and Tuzhilin 2005].

2.2.2. Filtragem Colaborativa (FC)

De acordo com [Chen 2005], a FC trabalha combinando as opiniões de pessoas que expressaram inclinações similares no passado para prever o que poder ser de interesse agora para uma determinada pessoa. Mais minuciosamente, conforme [Zanette 2008], estes tipos de sistemas tentam prever itens aos usuários de acordo com itens avaliados por outros usuários. Basicamente, o sistema utiliza informações da base de dados para encontrar os pares (pessoas com interesses similares) para assim gerar a recomendação de acordo com os pares. Desta forma, os usuários passam a colaborar com os sistemas para serem beneficiados com recomendações a partir das informações que os próprios usuários forneceram ao ambiente.

Segundo [Silva 2011], os Sistemas de Recomendação baseados em FC se diferenciam dos demais, justamente porque não exigem um processamento das características (descrições) dos conteúdos. Em contraste, esta técnica procura explorar o intercâmbio de experiências entre usuários e usa as opiniões para prever os interesses de outros. Para obter os *vizinhos mais próximos*, ou seja calcular a similaridade entre os perfis de usuários podem ser empregadas métricas como *Pearson* e *Cosseno*. Uma descrição detalhada da FC pode ser encontrada em [Zhou et al. 2008].

2.2.3. Filtragem Híbrida (FH)

A técnica de FH procura combinar os pontos fortes das técnicas de FBC e FC visando superar as limitações de cada técnica de filtragem e apresentar melhores resultados que possam atender às expectativas dos usuários. Segundo [Adomavicius and Tuzhilin 2005],

na literatura é possível encontrar algumas propostas para combinação das técnicas FBC e FC como segue:

- combinação linear dos resultados da FBC e FC que consiste em usar as técnicas de forma separada de forma que os resultados possam ou não serem combinados;
- incorporar na FC algumas características da FBC e vice-versa; e
- construção de um modelo unificado que incorpora as características de ambas técnicas.

Para o desenvolvimento da recomendação híbrida empregada no sistema descrito neste artigo foi empregada a combinação linear do resultados obtidos pela FC e FBC.

3. Trabalhos Relacionados

O objetivo desta seção consiste em apresentar uma análise de alguns trabalhos encontrados na literatura que abordam o tema Sistema de Recomendação de itens acadêmicos. Os trabalhos analisados empregam diferentes abordagens para recomendar itens acadêmicos e se correlacionam com o Sistema de Recomendação apresentado neste artigo, buscando assim posicionar este trabalho em relação aos demais.

[Cazella et al. 2008] apresentam um Sistema de Recomendação de artigos acadêmicos baseado em FC para ambientes móveis. Sistema que recomenda somente artigos científicos e emprega uma única técnica de filtragem. Já em [Cazella et al. 2009], apresentaram um Sistema de Recomendação de artigos acadêmicos que utiliza a técnica de FBC, também para ambientes móveis. Da mesma forma que o primeiro trabalho, o sistema recomenda somente artigos científicos e emprega uma única técnica de filtragem. Do mesmo modo, em [Barcellos et al. 2007] foi construído um sistema de recomendação de artigos acadêmicos integrado a um sistema de busca que utiliza a técnica de FBC. Neste trabalho, além de ser aplicada uma única técnica de filtragem, a recomendação é fornecida somente quando o usuário realiza uma pesquisa por uma determinada obra.

Em [Tantanasiriwong 2011] algoritmos de clusterização foram comparados e empregados em um Sistema de Recomendação de artigos extraídos do repositório *SCI corpus*. A recomendação consiste em agrupar os artigos que possuem características similares. Em contraste à solução proposta neste artigo, neste sistema não foi empregada nenhuma técnica de filtragem de informação no processo de recomendação, porém o mesmo foi baseado somente em clusterização.

Em [Casagrande et al. 2015] foi feita a aplicação de um sistema de recomendação em um repositório digital de obras literárias. Neste trabalho foi empregada a técnica de FH incorporando características da FC na FBC, com o agrupamento de perfis de usuário, porém sem a construção explícita de um perfil de usuário o qual não o permite determinar ou modificar as suas preferências e também sem a combinação linear dos resultados obtidos. Da mesma forma, em [Costa et al. 2011] foi construído um Sistema de Recomendação personalizada de artigos científicos para Bibliotecas Digitais. Nesse trabalho também foi aplicada a técnica de FH, porém o sistema não permite a especificação e modificação do perfil pelo usuário.

O Sistema de Recomendação proposto neste artigo se difere com relação aos demais trabalhos apresentados por empregar uma abordagem de recomendação híbrida que combina as duas técnicas de filtragem de informação. Como também, o perfil de usuário

pode ser modificado pelo mesmo para personalizar a sua recomendação. Além disso, o sistema recomenda não somente artigos acadêmicos, mas também TCCs, dissertações e teses, bem como possibilita que os próprios usuários cadastrem suas obras públicas.

4. Tenebris: Solução Proposta

Esta seção apresenta uma visão geral sobre o Sistema de Recomendação Híbrida, denominado Tenebris, e descreve a sua arquitetura de sistema, aspectos de implementação dos componentes e o sistema implementado.

4.1. Descrição do Sistema

A solução proposta consiste em um sistema de recomendação de obras acadêmicas que emprega a técnica de Filtragem Híbrida para apoio à pesquisa científica. Desta forma, o sistema proverá acesso personalizado aos trabalhos acadêmicos gerados na instituição, viabilizando que os alunos e professores possam receber recomendações de trabalhos acadêmicos de acordo com os seus interesses e necessidades de informação.

Para isso, é necessário que os usuários se cadastrem no sistema e especifiquem de forma explícita as suas áreas de pesquisas, autores, instituições e temas de interesse. Além disso, é possível também que as obras acadêmicas sejam cadastradas pelos próprios usuários, o que viabiliza um ambiente colaborativo de pesquisa científica. As obras acadêmicas apresentadas no sistema podem ser avaliadas de forma explícita pelos usuários.

O Sistema de Recomendação foi desenvolvido para plataforma Web. Deste modo, pode ser acessado por meio de navegadores tradicionais e/ou navegadores de dispositivos móveis, pois as suas páginas foram desenvolvidas de forma responsiva.

4.2. Arquitetura do Sistema

A Figura 1 apresenta a arquitetura do Sistema de Recomendação. A arquitetura é distribuída entre cliente e servidor, e baseada em dois módulos *front-end* e *back-end*. O módulo *front-end* possui os componentes responsáveis pela interação com o usuário e monitoramento da interação. Já no módulo *back-end* ficam localizados os componentes de suporte a filtragem de informação, gerenciamento de perfis de usuários e seus trabalhos acadêmicos.

A comunicação entre os dois módulos é baseada em [Richardson and Ruby 2007], e no formato JSON (*JavaScript Object Notation*) [Valet-Harpe 2013], que é uma formatação leve de troca de dados entre sistemas.

4.3. Componentes do Front-end

Estes componentes são responsáveis por viabilizar as interações do usuário com o sistema e a comunicação entre o *front-end* e *back-end*. Por meio de tais componentes o sistema gera e apresenta a recomendação híbrida de obras para o usuário, e também obtém de forma explícita o perfil do usuário e as suas avaliações de obras.

4.3.1. Componente Gerenciador de Recomendação Híbrida

Este componente é responsável por executar a FH que consiste em gerar uma lista final de recomendação de obras por meio da combinação linear das lista de obras filtradas

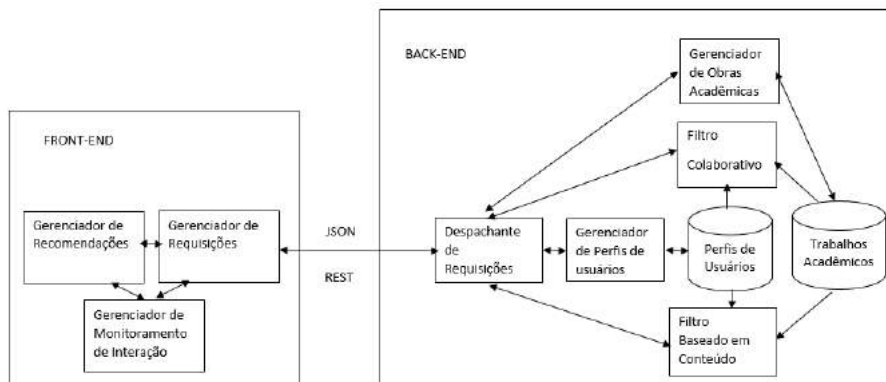


Figura 1. A arquitetura do Sistema de Recomendação.

pela ação dos componentes de FC e FBC. Um problema detectado durante a criação da lista de obras recomendadas foi a existência da recomendação de obras iguais, pois cada componente de filtragem trabalha de forma independente na geração das lista de obras. Com isso, foi preciso adotar uma solução que removesse essas repetições, foi então, que adotou-se um algoritmo denominado “misto” para solucionar o problema.

Baseado no trabalho de [Burke 2002] utilizamos o mesmo princípio para construir um algoritmo denominado como misto, onde neste trabalho, aplicamos uma técnica conhecida da matemática, a teoria dos conjuntos. Ele funciona da seguinte maneira: inicialmente temos um conjunto vazio de obras recomendadas, então quando o Gerenciador de Recomendação recebe a lista única de obras, automaticamente, o componente percorre toda a lista de obras verificando obra por obra adicionando ao conjunto apenas as obras que não pertencem ao conjunto. Portanto, é mantido no conjunto apenas aquelas obras cujo o ID ainda não pertence ao conjunto, eliminando assim as obras iguais. A Figura 2 ilustra o seu funcionamento.



Figura 2. Funcionamento do Algoritmo Misto.

4.3.2. Componente Gerenciador de Monitoramento de Interação

Tudo que compete a interação entre o usuário e sistema, acontece por meio deste componente. Ele é responsável por capturar as ações do usuário, monitorar as obras acessadas e

avaliadas. Além disso, gerencia o fluxo de navegação entre telas e operações permitindo solicitações de recursos ao sistema, tais como: recomendações de obras, perfil do usuário, interesses, e detalhes de obras.

4.3.3. Componente Gerenciador de Requisições

Todo o fluxo de comunicação de dados entre *front-end* e *back-end* acontece por meio do componente gerenciador de requisição responsável por estabelecer a conexão com o servidor (*back-end*) e encaminhar qualquer requisição de recurso. O *back-end* é conectado ao *front-end* por meio de uma conexão de dados via Internet baseada em REST e no formato JSON para troca de dados.

4.4. Componentes do Back-end

Estes componentes são responsáveis pelo gerenciamento dos dados dos perfis do usuário e das obras acadêmicas. Além disso, também são os responsáveis pela implementação das técnicas de filtragem de informação.

4.4.1. Componente Despachante de Requisição

Este é o primeiro componente de integração do *back-end* com o *front-end*. É o componente responsável por receber as requisições oriundas do *front-end* e acionar o componente apropriado para atender a requisição recebida. Além disso, também controla o processo de recomendação, pois determina a sequência de execução dos componentes de filtragem de informação.

4.4.2. Componente Gerenciador de Perfis de Usuários

Este é o componente responsável pelo acesso, armazenamento, atualização e exclusão de dados do perfil do usuário armazenados em uma tabela específica do banco de dados. O perfil do usuário é cadastrado de forma explícita pelo usuário por meio do *front-end* do sistema de recomendação que envia os dados no formato JSON para o componente Gerenciador de Perfis de Usuários.

4.4.3. Componente Gerenciador de Obras Acadêmicas

Este é o componente responsável pelo acesso, armazenamento, atualização e exclusão dos dados de obras acadêmicas armazenados em uma tabela específica do banco de dados. A obra acadêmica é cadastrada de forma explícita pelo autor do trabalho por meio do *front-end* do sistema de recomendação que envia os dados no formato JSON para o componente Gerenciador de Obras Acadêmicas.

4.4.4. Componente Filtro Colaborativo

Este componente é responsável por implementar a FC. Por meio do ID do usuário, o componente acessa uma tabela específica do banco de dados, que contém avaliações do próprio usuário e do restante da comunidade de usuários. É importante frisar que o componente de FC utiliza um limitante numérico para a quantidade de usuários, já pré-estabelecido, o que chamamos de vizinhos.

Quanto mais avaliações de usuários diferentes, maiores serão os vizinhos. Com isso em mente, o componente cria a rede de colaborações, verificando as avaliações dos usuários para com os artigos no banco de dados e então, assemelhando artigos para serem mostrados para o usuário; artigos esses já avaliados pelos usuários com perfis similares ao usuário que se deseja fazer recomendação, mas ainda assim não avaliados pelo mesmo. Este componente utiliza do coeficiente de *Pearson* para o cálculo de semelhança entre perfis do usuário.

A quantidade de artigos que será recomendada ao usuário é limitada por um parâmetro numérico passado anteriormente pelo componente de requisição, com isso, a lista final para artigos da FC é organizada de forma a retornar essa quantidade fixa, dando prioridade para artigos com maior grau de similaridade com o perfil do usuário que se deseja fazer a recomendação. Para implementação do filtro foi empregado *API Mahout* [Owen et al. 2012] que fornece um conjunto de classes de suporte ao Modelo Espaço Vetorial e cálculo de *Pearson* supracitado.

4.4.5. Componente Filtro Baseado em Conteúdo

Este componente é o responsável por executar a FBC. Por meio do ID do usuário, o componente acessa um perfil de usuário armazenado em uma tabela específica do banco de dados para obter os interesses do usuário que serão, posteriormente, comparados as descrições de obras acadêmicas também obtidas de uma tabela específica do banco de dados. Esta comparação visa filtrar um conjunto de obras que possuem as descrições mais similares aos interesses do usuário.

Para isso, o componente emprega a Técnica de Indexação de Frequência dos Termos, o Modelo Vetorial e o cálculo do cosseno do ângulo entre os vetores descritos em [Baeza-Yates and Ribeiro-Neto 1999] para obter o valor da similaridade entre o vetor que representa o perfil do usuário e seus interesses e os vetores que representam as obras acadêmicas localizados dentro de espaço vetorial. Cada componente do vetor corresponde a frequência que um termo ocorre em uma obra ou em um perfil de usuário. Após executar o cálculo de similaridade, as obras que forem mais similares para um determinado perfil de usuário são consideradas relevantes.

O resultado da filtragem consiste em uma lista de obras ordenadas de forma decrescente de acordo com o valor de similaridade. Para implementação do filtro foi empregado *API Lucene* [McCandless et al. 2012] que fornece um conjunto de classes de suporte às técnicas TF-IDF e ao Modelo Espaço Vetorial.

4.5. Sistema Implementado

O sistema implementado, denominado Tenebris, foi desenvolvido para a plataforma Web com o principal objetivo de gerar recomendações de obras acadêmicas para o usuário com base no seu perfil de interesses e pelas avaliações por ele realizadas através do sistema.

A Figura 3(a) apresenta a tela inicial do modelo onde são apresentados os campos login e senha para acesso ao sistema. Para o caso de novos usuários é necessária a criação de um perfil para o mesmo através do botão “Não sou cadastrado”, no qual logo em seguida é solicitada a sua instituição de ensino. A Figura 3(b) mostra a tela de obras acadêmicas recomendadas para certo usuário baseado em seu perfil. Nota-se que, caso o usuário esteja realizando seu primeiro acesso, a lista de obras recomendadas é baseada na instituição de ensino que foi selecionada no cadastro de seu perfil.

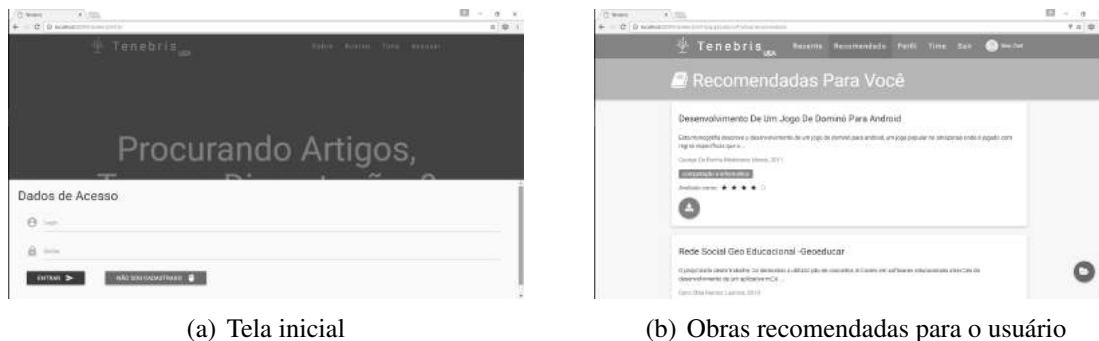


Figura 3. Telas do sistema Tenebris

A Figura 4(a) apresenta a tela com informações de uma obra e a avaliação do mesmo. Observa-se que, além do título, é exposto o resumo, o autor, a área de estudo, o tipo de obra acadêmica, a instituição de ensino, a avaliação média de outros usuários e a opção de avaliação pelo usuário para aquela obra, como também a opção de baixá-la em formato PDF. A fim de atualizar os interesses do usuário, há dentro do sistema a aba “Perfil”, onde é possível acrescentar ou excluir *tags* de interesse, instituições de ensino e autores, como também há possibilidade de atualizar uma área de estudo como apresentado na Figura 4(b). Desta forma, a lista de obras recomendadas torna-se mais especializada ao gosto do usuário.



Figura 4. Telas do sistema Tenebris

5. Testes e resultados

Nesta seção são descritos os testes que foram realizados com o sistema de recomendação e os resultados que foram obtidos.

5.1. Dados

Para que seja possível analisar a qualidade das recomendações e, conseqüentemente, o desempenho do sistema, foram estipulados dados a serem analisados. São eles: quantidade de obras recomendadas pelo sistema, quantidade de obras avaliadas (por cada usuário) e quantidade de obras recomendadas pelo sistema e que o usuário julga relevantes.

5.2. Métricas

A eficiência de um sistema de recomendação pode ser mensurada por meio das métricas: precisão, revocação e medida F como constam em [Jiangshan et al. 2010]. É possível encontrar inúmeros trabalhos que empregam tais técnicas para análise e estudo de desempenho de um sistema de recomendação.

- **Precisão:** segundo [Jiangshan et al. 2010], conforme o seu nome indica, mensura o quão precisa foi a resposta, em uma proporção de itens recomendados que seja realmente relevantes. Obedecendo, logo, a fórmula:

$$Pr = \frac{(Artigos_{relevantes}) \cap (Artigos_{retornados})}{(Artigos_{relevantes})} \quad (1)$$

- **Revocação:** segundo [Jiangshan et al. 2010], a revocação é usada para mensurar a fração de todos os itens relevantes que o sistema conseguiu recomendar dentre o número total de itens relevantes disponíveis na coleção. Segue a fórmula.

$$Rev = \frac{(Artigos_{relevantes}) \cap (Artigos_{retornados})}{(Artigos_{retornados})} \quad (2)$$

- **Medida-F:** Pode-se afirmar que a medida F é precisamente uma métrica harmônica. De acordo com [Jiangshan et al. 2010], quanto mais próximo de 1 (um) for o valor da medida F mais eficiente será o sistema.

$$M_F = \frac{2 * (Pr * Rev)}{Pr + Rev} \quad (3)$$

5.3. Descrição dos Testes

Com o objetivo de avaliar a qualidade da recomendação gerada pelo sistema, testes foram realizados durante uma semana com um grupo de alunos do curso de Engenharia da Computação (EC) e Sistemas da Informação (SI) da Escola Superior de Tecnologia (EST)

da UEA. O período de testes ocorreu durante o período de férias, onde os alunos que desenvolvem projetos frequentam a EST com um horário mais flexível e costumam passar o dia na universidade.

A EST disponibilizou um computador para este trabalho, no laboratório de projetos, onde os alunos convidados para os testes também frequentam. Na semana anterior à realização da semana de testes, foram instalados nesta mesma máquina todos os programas necessários e foi carregado o banco de dados com TCCs provenientes da própria EST, onde foram recolhidos em sites de professores da instituição que fazem o *upload* desses arquivos que são, em suma, de seus orientandos. Os usuários que testaram o sistema foram no total 8 alunos, sendo 5 provenientes de EC e 3 de SI. Como os usuários não tinham aulas e passavam o dia na universidade, eles podiam utilizar o sistema no horário que lhes fosse melhor. Cada usuário utilizou o Tenebris 1 vez por dia, durante 5 dias, no decorrer de uma semana. Em seu primeiro contato com o sistema o usuário era explicado sobre suas funcionalidades, funcionamento e aplicabilidade. Prosseguindo, cada usuário criou seu próprio login com senha e indicou a sua faculdade de origem e, após isso, alimentou o banco de dados ao relacionar breves *tags* relacionadas aos seus interesses com relação ao conteúdo dos artigos. A tela dessa aplicação consta na Figura 4(b).

Após a especificação de suas *tags*, o usuário avaliava 5 obras, ou seja, usava de seus próprios critérios para classificar uma obra entre 1 até 5 estrelas, sendo 1 estrela um artigo que não é de seu interesse e 5 estrelas um artigo que é de seu interesse e muito relevante. Para essa avaliação, o usuário estava livre para navegar e escolher os artigos que quisesse e utilizasse dos critérios que bem preferisse para avaliar – é importante ressaltar que embora os membros da equipe estivessem por perto para sanar possíveis dúvidas que pudessem surgir sobre o sistema, os mesmos buscaram por não influenciar a avaliação de nenhum usuário para com obra nenhuma para que se tivesse uma avaliação clara e coesa, que representasse o interesse do usuário da melhor possível. Também é necessário esclarecer o número estabelecido de 5 avaliações por dia para cada usuário, isto ocorreu porque se viu necessário estabelecer um número fixo de obras a serem avaliadas porque o sistema constava de somente 50 TCCs e 5 trabalhos variados. Se os usuários avaliassem várias obras, poderia ocorrer um cenário indesejado onde a FC não colabora, pois não recomenda uma obra para o usuário sendo esta uma obra que ele mesmo já informou ao sistema explicitamente que é de seu interesse ou não, sendo então desnecessária a sua recomendação. Após a avaliação das 5 obras, o usuário solicitava uma recomendação ao sistema que assim o recomendava. Para cada obra retornada pelo sistema era necessário que o usuário respondesse se aquela obra recomendada seria de seu interesse, ou seja, se ele a leria e se concordava que o sistema havia lhe retornado uma obra relevante. Esses dados são importantes para mensurar a qualidade das recomendações naquele dia e em diante, o que possibilita o estudo da curva de aprendizado do sistema que será alvo de discussão na próxima subseção.

Assim, cada usuário utilizou o Tenebris uma vez por dia, no horário que lhe fosse desejado, sempre acompanhado de um membro da equipe desenvolvedora e sem tempo pré-estabelecido, pois cada usuário tinha seu tempo e sua forma de escolher para avaliar obras. Inicialmente, a ideia de se estipular uma determinada quantidade de tempo foi concebida, mas descartada após ser constatado que era desnecessária uma vez que todos os usuários poderiam utilizar o sistema no mesmo dia, em qualquer horário.

Ao final da semana, os usuários foram convidados a preencher um formulário para *feedback*, elogios e sugestões de melhoria. Alguns resultados obtidos foram, por exemplo, elogios à interface, usabilidade, aplicabilidade, também como sugestões de melhorias, como alguns *bugs* e, principalmente, a incapacidade de, na página de acervo principal, não ser possível abrir uma nova guia para abrir um artigo. Na época em questão, era necessário que o usuário abrisse o artigo na mesma página e então voltasse para a página de acervo para que continuasse e buscasse outro artigo. Este detalhe foi o principal alvo de sugestões de melhorias, e posteriormente, nas versões atuais, foi corrigido.

5.4. Resultados Obtidos

Os gráficos a seguir apresentam o desempenho do sistema para cada usuário durante o período de uma semana de testes. Os gráficos são divididos em dois eixos, sendo o eixo das abscissas (x) correspondente aos dias da semana, e o eixo das coordenadas (y) correspondente ao desempenho do sistema mensurado pelas métricas de avaliação. Além disso, cada linha traçada representa o desempenho do sistema de acordo com o teste realizado por um usuário. Torna-se importante destacar que quanto maior a porcentagem, melhor o desempenho do sistema.

Nos dois primeiros dias de testes o desempenho do sistema foi regular. A razão para isto é que o sistema estava gerando recomendações somente por meio da FBC. A FC necessita de uma determinada quantidade de dados para funcionar, e o sistema ainda não dispunha do número suficiente de avaliações de obras para executar a FC. Esta limitação da FC é conhecida na literatura como o problema do *cold-start* [Chen 2005]. Vale ressaltar que apesar dos resultados regulares, os testes iniciais foram importantes, porque viabilizaram o treinamento do sistema por meio das avaliações de obras recomendadas, o que gerou os dados necessários para execução da FC.

Por meio dos gráficos de resultados (Figuras 5 e 6) é possível constatar que o sistema começa a apresentar melhor desempenho para a maioria dos usuários a partir dos dias seguintes, pois é quando a FC começa a atuar. Foram necessárias cerca de 25 avaliações no total, vindas dos 8 usuários, para que a FC iniciasse a geração de listas de obras, uma vez que quanto mais avaliações de obras o sistema recebe, melhor será a recomendação. Com isso, ambas as técnicas de filtragem começaram a gerar listas de obras que foram combinadas de forma linear viabilizando a FH do sistema. Os resultados confirmam que o desempenho do sistema é muito sensível ao número de avaliações de obras que podem estar associadas com um determinado usuário. Adicionalmente, observa-se a melhora dos valores das métricas de revocação, precisão e, principalmente, da constante harmônica da medida-F (Figura 7) cujos os seus valores estão mais próximo de 1, o que demonstra uma evolução no desempenho do sistema.

Não existe uma forma de *benchmark* para análise dos resultados, sendo a conclusão, de que um sistema de recomendação é eficiente, muito conectado ao ambiente, ferramentas, testes e técnicas aplicadas. O Tenebris, em uma semana, foi capaz de reconhecer os gostos de vários usuários, utilizando duas técnicas de recuperação de informação e combinando-as, atingindo uma Medida-F acima de 85% para todos os usuários que o utilizaram, e inclusive beirar 90% para alguns. Levando em consideração este cenário, é favorável a ideia de que o sistema de recomendação Tenebris é um sistema de recomendação eficiente, o que demonstra que, ao final da semana de testes, os usuários que o utilizaram ficaram satisfeitos com as recomendações feitas.

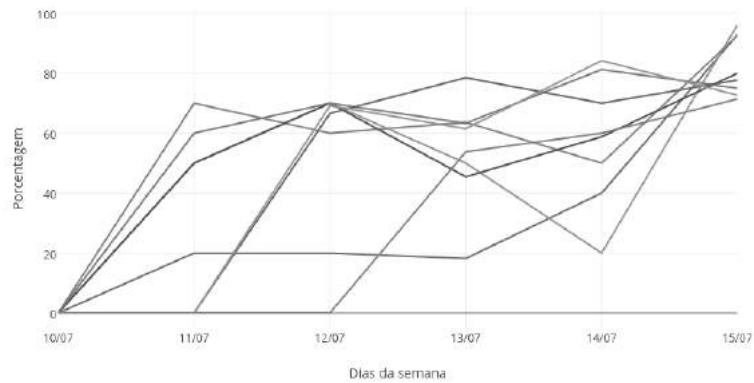


Figura 5. Precisão

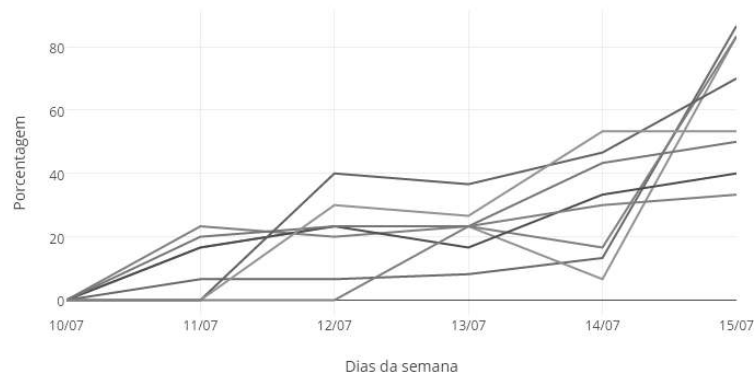


Figura 6. Revocação

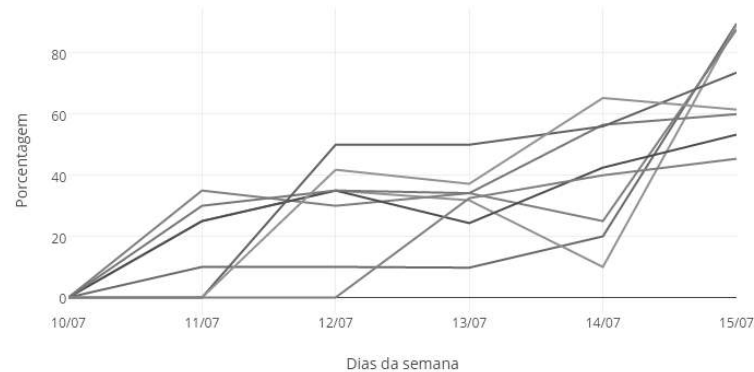


Figura 7. Medida-F

6. Conclusões e Trabalhos Futuros

Este artigo apresentou a proposta de um Sistema de Recomendação de obras acadêmicas baseado em uma abordagem de Recomendação Híbrida por meio da combinação linear dos resultados obtidos das Filtragens Colaborativa e Baseada em Conteúdo. O artigo apresentou a arquitetura do sistema, seus principais componentes e também os testes que foram realizados para avaliar a qualidade das recomendações geradas. Por meio dos resultados obtidos dos testes, foi possível constatar que o desempenho do sistema, de acordo com os valores das métricas de desempenho, foi satisfatório.

Torna-se importante ressaltar que a ferramenta construída é um projeto aberto. Logo, pode ser implementado e utilizado não somente pela UEA, mas por qualquer instituto de ensino superior do Brasil. Como trabalhos futuros, está o estudo e desenvolvimento de um novo componente de suporte à Filtragem Baseada em Conhecimento que utiliza técnicas de Aprendizagem Máquina e, desta forma, amplia o sistema visando melhorar cada vez mais a qualidade das recomendações.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Luiz E. F. Bentes e a Elloá B. Guedes pelas discussões técnicas ao longo deste trabalho. O autor L. G. C. Evangelista agradece ao apoio financeiro provido pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Amazonas (FAPEAM) pela bolsa de iniciação científica concedida pelos PAIC/UEA 2015-2016 e 2016-2017.

Referências

- Adomavicius, G. and Tuzhilin, A. (2005). Toward the next generation of recommender systems: A survey of the state-of-the-art and possible extensions. In Lin, X. and Chen, L., editors, *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, pages 734–749. IEEE.
- Baeza-Yates, R. A. and Ribeiro-Neto, B. (1999). *Modern Information Retrieval*. PRENTICE HALL, 1th edition.
- Barcellos, C. D., Musa, D. L., Brandão, A. L., and Warpechowski, M. (2007). Sistema de recomendação acadêmico para apoio a aprendizagem. *RENOTE*, 5(2).
- Burke, R. (2002). Hybrid recommender systems: Survey and experiments. *User modeling and user-adapted interaction*, 12(4):331–370.
- Casagrande, M. F. R., Kozima, G., and Willrich, R. (2015). A recommendation technique based on metadata for digital repositories oriented to learning. *Brazilian Journal of Computers in Education*, 23(2):69–70.
- Cazella, S. C. and das Chagas, I. C., Barbosa, V., J. L., and Reategui, E. B. (2008). Um modelo para recomendação de artigos acadêmicos baseado em filtragem colaborativa aplicado à ambientes móveis. In Tarouco, L. M. R., editor, *RENOTE – Revista Novas Tecnologias na Educação*, pages 12–21. UFRGS.
- Cazella, S. C., Reategui, E., Machado, M., and Barbosa, J. (2009). Recomendação de objetos de aprendizagem empregando filtragem colaborativa e competências. In Crespo, S., editor, *Anais do SBIE 2009*. SBC.
- Chen, A. (2005). Context-aware collaborative filtering system: predicting the user’s preferences in ubiquitous computing. In *CHI’05 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, pages 1110–1111. ACM.
- Costa, E. B., Oliveira, T. T., Silva, A. P., and Bittencourt, I. I. (2011). Sistema de recomendação híbrido para bibliotecas digitais que suportam o protocolo oai-pmh. In *Brazilian Symposium on Computers in Education (Simpósio Brasileiro de Informática na Educação-SBIE)*, volume 1.
- Das, A. S., Datar, M., Garg, A., and Rajaram, S. (2007). Google news personalization: scalable online collaborative filtering. In Williamson, C. and Zurko, M. E., editors, *16th international conference on World Wide Web Pages*, pages 271–280. ACM.

- Geva, S. and Trotman, A., editors (2014). *The Thirty-Seventh Annual International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval*. ACM.
- Jiangshan, X., Zhang, L., Lu, H., and Li, Y. (2010). The development and prospect of personalized tv program recommendation system. In Dutta, A. and Paul, S., editors, *2010 IEEE 4th International Conference on Internet Multimedia Services Architecture and Application*. IEEE.
- Kobsa, A. and Zhou, M., editors (2014). *RecSys '14: Proceedings of the 8th ACM Conference on Recommender Systems*, New York, NY, USA. ACM. 609146.
- Linden, G., Smith, B., and York, J. (2003). Amazon.com recommendations: item-to-item collaborative filtering. In Blake, M. B., editor, *IEEE Internet Computing – Volume 3, Issue 1*, pages 76–80. ACM.
- McCandless, M., Hatcher, E., and Gospodnetic, O. (2012). *Lucene in action*. Manning Publication, 1th edition.
- MEC (2017). Portal Periódico Capes/MEC. URL: www-periodicos-capes-gov-br Access in 2017–03–27.
- Owen, S., Anil, R., Dunning, T., and Friedman, E. (2012). *Mahout in action*. Manning Publication, 2th edition.
- Richardson, L. and Ruby, S. (2007). *RESTful Web Services-Web services for the Real World. 2007*. O'Reilly Media, 1th edition.
- Silva, F. S. (2011). *PersonalTVware: uma infraestrutura de suporte a sistemas de recomendação sensíveis ao contexto para TV Digital Personalizada*. PhD thesis, Universidade de São Paulo.
- Tantanasiriwong, S. (2011). A comparison of clustering algorithms in article recommendation system. In Zeng, Z. and Li, Y., editors, *Volume 8349 Fourth International Conference on Machine Vision (ICMV 2011): Machine Vision, Image Processing, and Pattern Analysis*. SPIE.
- UEA (2017). Sistema Integrado de Bibliotecas – UEA. URL: <http://biblioteca.uea.edu.br/biblioteca/index.php> Access in 2017–03–20.
- UFMG (2017). Sistemas de Bibliotecas da UFMG. URL: <https://www.bu.ufmg.br/bu/> Access in 2017–03–20.
- USP (2017). Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da USP. URL: <http://www.teses.usp.br/> Access in 2017–03–20.
- Valet-Harpe, I. (2013). *The JSON Data Interchange Format*. ECMA International, 1th edition.
- Zanette, L. R. (2008). Sistema de recomendação de itens baseado na rede de confiança do usuário. Master's thesis, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. Programa de Pós-Graduação em Informática.
- Zhou, Y., Wilkinson, D., Schreiber, R., and Pan, R. (2008). Large-scale parallel collaborative filtering for the netflix prize. In *International Conference on Algorithmic Applications in Management*, pages 337–348. Springer.

Uma Abordagem para Identificação de Entidades Influentes em Eventos Comentados nas Redes Sociais Online

Rayol M. Neto¹, Bruno Á. Souza¹, Thais G. Almeida¹,
Fabiola G. Nakamura¹, Eduardo F. Nakamura¹

¹Instituto de Computação – Universidade Federal do Amazonas (UFAM)
Manaus – AM – Brasil

{rayol,bruno.abia,tga,fabiola,nakamura}@icomp.ufam.edu.br

Abstract. *Online Social Networks (OSN) allow users to share content of any kind. In these networks, users can be considered as social sensors, where their opinions and comments about an event can be studied (e.g., characterizing events, recognizing influential entities). OSN can be modeled as complex networks, where the entities are represented by the vertices and the edges characterize the connection between them. Using this approach, we can determine which are the most influential entities in the studied context through centrality measures (e.g., Betweenness and Pagerank). Based on this, this article presents an analysis of the most influent entities from the perspective of an event in Online Social Networks and an study of the detected communities. As results we realize that the measures of centrality have different influential entities, this shows that although all the entities are part of the same event, some have greater influence depending on the studied aspect. Regarding the community detection we notice that entities that were grouped together, are directly linked to a sub-event within the studied context.*

Resumo. *Redes Sociais Online (RSO) permitem aos usuários compartilhar conteúdo de qualquer tipo. Nestas redes, os usuários podem ser vistos como sensores sociais, onde suas opiniões e comentários a respeito de um evento podem ser utilizados para estudo (e.g., caracterização de eventos, reconhecimento de entidades influentes). RSO podem ser modeladas como redes complexas, onde as entidades são representadas pelos vértices e as arestas caracterizam a conexão entre elas. Utilizando esta abordagem, podemos determinar quais são as entidades mais influentes no contexto estudado através de medidas de centralidade (e.g., Betweenness e Pagerank). Com base nisto, este artigo apresenta uma análise das entidades mais fluentes sob a perspectiva de um evento em Redes Sociais Online e apresenta um estudo das comunidades detectadas. Como resultados percebemos que as medidas de centralidade apresentam diferentes entidades influentes, isto demonstra que embora todas as entidades façam parte do mesmo evento, algumas tem influência maior dependendo do aspecto estudado. Com relação a detecção de comunidades percebemos que entidades que foram agrupadas juntas, estão diretamente ligadas a um sub-evento dentro do contexto estudado.*

1. Introdução

Com a disseminação da Internet, as Redes Sociais Online (RSO) emergiram possibilitando a conexão de pessoas através de ambientes virtuais, que disponibilizam recursos

como compartilhamento de fotos, vídeos, opiniões e percepções pessoais [Atefeh and Khreich 2015; Benevenuto et al. 2011]. Atualmente, essas RSO fazem parte do cotidiano de pessoas e empresas (e.g., Twitter possui 313 milhões de usuários mensais¹), fornecendo recursos cada vez mais atrativos aos seus usuários. Com o aumento da conectividade, as RSO podem ser utilizadas como fontes de dados para pesquisas, pois possuem uma elevada quantidade de dados produzidas pelos seus usuários [Souza et al. 2016].

Partindo desse princípio, cada usuário nesses ambientes pode ser visto como um sensor colaborativo, onde suas opiniões e percepções a respeito de um determinado acontecimento podem ser utilizadas para caracterizar eventos [Sakaki et al. 2010], reconhecer entidades influentes [Cha et al. 2010] e analisar sentimentos [Almeida et al. 2016]. Nesse contexto, técnicas de aprendizagem de máquina supervisionadas e não-supervisionadas são possíveis soluções para extrair estas informações [Souza et al. 2016; Petrović et al. 2010]. Outra abordagem que também pode ser utilizada são as Redes Complexas, onde as interações de usuários ou informações compartilhadas podem ser modeladas através de arestas, e as entidades representadas por nós, que em conjunto formam a rede [Mislove et al. 2007]. Essa estratégia tem sido amplamente utilizada para reconhecimento de perfis influentes e principais entidades, disponibilizando métodos e métricas para tais finalidades.

A partir desse cenário, existem trabalhos recentes de Redes Complexas que foram capazes de definir as entidades mais influentes de acordo com diferentes métricas de centralidade [Rostami and Mondani 2015; Beveridge and Shan 2016]. Outros autores utilizaram essas métricas no contexto de Redes Sociais Online [Mislove et al. 2007; Oliveira et al. 2015] e estudaram sua estrutura e evolução [Kumar et al. 2010]. Entretanto, as soluções existentes não apresentam uma abordagem que combine a extração de entidades em textos, verificação das relações entre entidades e a representação através de Redes Complexas para reconhecimento de principais entidades dentro de um evento comentado nas mídias sociais.

Com isso, as principais contribuições deste trabalho são: (i) uma abordagem para modelar redes complexas a partir de comentários compartilhados nas RSO; (ii) a análise que demonstra o impacto de diferentes métricas de centralidade aplicadas nesse contexto, a fim de identificar as entidades mais influentes (entidades que possuem maior relevância no contexto estudado) em um evento. Para validação da abordagem proposta, realizamos um estudo de caso considerando as 15 fases da Operação Lava Jato em 2016.

Este artigo está organizado da seguinte maneira. Na Seção 2 são discutidos os trabalhos relacionados. Em seguida, a Seção 3 apresenta a abordagem proposta. Os resultados são demonstrados na Seção 4. Por fim, a Seção 5 apresenta as considerações finais e direções futuras.

2. Trabalhos Relacionados

Medidas de centralidade foram criadas como forma de medir a importância de um nó em uma rede [Newman 2003]. Por possuírem essa característica, essas métricas vêm sendo empregadas em redes sociais [Jamali and Abolhassani 2006] com o intuito de identificar quais entidades são as mais influentes.

¹<https://about.twitter.com/company>

No trabalho de Rostami and Mondani [2015], os autores apresentam um estudo para saber se diferentes bases de dados a respeito do mesmo evento influenciam na análise dos resultados das Redes Complexas. Eles utilizam três bases de dados diferentes sobre uma gangue de rua Sueca para criar as Redes Complexas, e comparam essas redes calculando as métricas de distância, centralidade e agrupamento. No cálculo das distâncias foi utilizado o *Graph Edit Distance (GED)*, para calcular a centralidade utilizam *Degree centrality (Dc)* e *Betweenness centrality (Bc)* e por fim para calcular o agrupamento utilizam o *local Clustering Coefficient (C_i)*. Como resultado, os autores demonstram claramente que diferentes bases de dados para o mesmo fenômeno produzem cenários diferentes.

Oliveira et al. [2015] apresentam um estudo sobre o parlamento brasileiro no Twitter. Para a análise dos dados, utilizam as métricas: grau, assortatividade, HITS, *Betweenness*, coeficiente de clusterização, reciprocidade, diâmetro e grau de distância. Os autores levam em consideração que os vínculos sociais ou políticos foram expressos pelas suas conexões e frequência de interação entre os usuários no Twitter. Os resultados da análise das medidas de centralidade apontam que existem mais parlamentares sendo seguidos do que seguindo outros usuários, a rede é densa e de pequeno diâmetro, além de possuir um alto coeficiente de clusterização. Adicionalmente, foi observado que há uma grande reciprocidade nas ligações e os parlamentares com os maiores valores de *Betweenness* exercem algum tipo de liderança no parlamento Brasileiro.

Beveridge and Shan [2016] apresentam o impacto da análise de diferentes métricas (*Degree, Weighted degree, Eigenvector, PageRank, Closeness* e *Betweenness*) de centralidade em um mesmo domínio. No artigo, foi criada uma rede complexa onde os nós são os personagens que aparecem no terceiro livro do universo de *Game of Thrones* e as arestas a relação entre esses personagens. Os resultados apresentados mostram que dependendo da medida de centralidade utilizada, um personagem pode ser mais ou menos influente no enredo estudado.

Mislove et al. [2007] apresentam um estudo de medição em larga escala e análise da estrutura de múltiplas RSO, onde foram coletados dados de 4 mídias sociais Flickr, YouTube, LiveJournal e Orkut. Foi observado que os nós dos usuários na medida *Indegree* tendem a igualar os da medida *Outdegree* e que as redes contêm um núcleo densamente conectado de nós de alto grau. Além disso, percebeu-se que este núcleo liga pequenos grupos de nós de baixo grau fortemente agrupados nas margens da rede.

Na pesquisa de Liu et al. [2016], os autores relacionam o sucesso de um clube de futebol com suas atividades no mercado de transferência de jogadores de uma perspectiva de Redes Complexas. Nessa rede, os nós são os clubes de elite, e as arestas direcionadas que conectam os nós são as transferências de jogadores e os empréstimos. Particularmente, estuda-se a relação entre as propriedades do nó e as funcionalidades dos clubes profissionais. Os autores utilizam 5 medidas de centralidade *Eigenvector, PageRank, Effective size, Betweenness* e *Closeness*. Os resultados mostram que o desempenho e a rentabilidade dos clubes no mercado de transferência estão fortemente associados às propriedades de centralidade de seus nós correspondentes na rede de transferência de jogadores.

Os principais diferenciais da abordagem proposta neste trabalho, quando comparado às soluções apresentadas, são: (i) extrair entidades do evento de forma automatizada;

- (ii) avaliar diferentes medidas de centralidade a partir de dados de Redes Sociais Online;
- (iii) identificar as entidades mais influentes em um evento comentado em mídias sociais.

3. Abordagem Proposta

A abordagem proposta neste trabalho consiste das seguintes etapas (ilustradas na Figura 1): (i) coleta de dados provenientes das Redes Sociais Online para a construção da base de dados; (ii) pré-processamento dos dados, a fim de retirar ruídos existentes na base de dados; (iii) reconhecimento das entidades nomeadas; (iv) cálculo das ocorrências conjuntas de entidades presentes no mesmo documento, para a geração da rede complexa; e (v) análise das comunidades e principais entidades da rede complexa modelada.

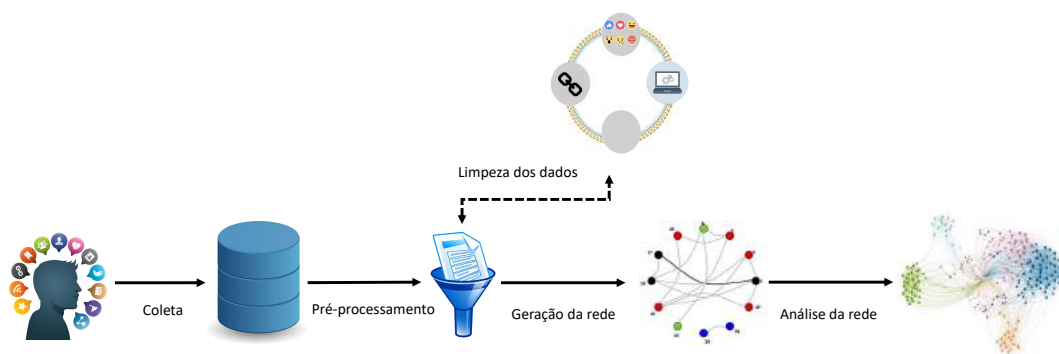


Figura 1. Etapas da abordagem proposta.

3.1. Coleta e Pré-processamento

A abordagem proposta se inicia na fase de coleta, onde os dados podem ser extraídos de uma RSO, a fim de gerar a base de dados. Após a fase de coleta de dados e construção da base de dados, o pré-processamento é necessário para eliminar os ruídos da base de dados. Nessa etapa removemos *urls* e menções.

3.2. Criação da Rede (Grafo)

Nessa fase é utilizada a abordagem de reconhecimento de entidade nomeada (NER - *Named Entity Recognition*) para extrair quais entidades estão sendo mencionadas na base (conforme ilustrado na Figura 2). Desta forma, o dados passam a ser representados somente pelas entidades que foram detectadas, pois assim podemos fornecer as entradas necessárias para a geração da rede. As entidades representam os vértices do grafo e o peso das arestas equivale à quantidade de vezes que a entidade a é mencionada junto com a entidade b ao longo da base de dados. Calculamos as ocorrências conjuntas através da Equação 1, onde assumimos que a frequência dos termos $F(a, b)$ é soma das frequências de ocorrências dos termos em todos os documentos.

$$F_{(a,b)} = \sum_{j=1}^D f_{((a,b),j)} \quad (1)$$

Nessa etapa, consideramos que relações entre as entidades são bidirecionais, ou seja, tanto as frequências $F(a, b)$ como $F(b, a)$, são representadas como uma única aresta

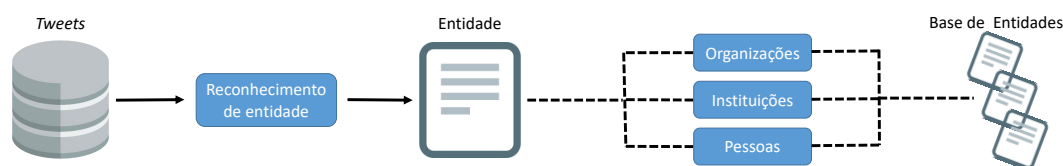


Figura 2. Estrutura utilizada no reconhecimento de entidade.

na rede (grafo) e com isso, poderíamos somar os valores das frequências, como por exemplo, as entidades “X” e “Y” tem frequência igual a 20, e a inversão “Y” e “X” tem frequência igual a 30, com isso, ao final teríamos uma única relação entre as duas entidades com peso igual a 50.

3.3. Análise da Rede

Na fase de análise da rede, aplicamos 6 métricas de centralidade (*Degree*, *Weighted Degree*, *Eigenvector*, *Pagerank*, *Closeness* e *Betweenness*), com o intuito de estudar o impacto dessas métricas sobre uma rede baseada em opiniões pessoais de usuários de RSO. Adicionalmente, aplicamos o algoritmo de *Louvain* [Blondel et al. 2008] para detectar comunidades.

As métricas de centralidade podem ser utilizadas para identificar vértices importantes e seu nível de influência dentro de uma rede [Beveridge and Shan 2016]. Cada métrica leva em consideração diferentes características da rede para mensurar a importância dos vértices. O *Degree Centrality* considera o número de arestas incidentes que um vértice possui [Freeman 1978]. O *Weighted Degree Centrality* leva em consideração o valor do peso das arestas, ou seja, seu cálculo é feito a partir da soma dos pesos das arestas incidentes em um vértice [Barrat et al. 2004]. Na equação abaixo, V corresponde ao conjunto de vértices do grafo:

$$v_i = \sum_{k \in V} a_{v_i, v_k} \quad (2)$$

O *Eigenvector Centrality* assume que um vértice importante está conectado com outros nós importantes, onde a importância x_v de um vértice i pode ser medido pelo somatório da importância dos seus vizinhos (equação 3). Dado uma matriz de vértices adjacentes A com entradas $a_{i,k}$ e $\lambda \neq 0$ sendo um autovalor da matriz A , este cálculo é aplicado sobre cada vértice da rede, não sendo necessário ter várias arestas conectadas a um vértice para se obter um alto *eigenvector* [Newman 2008].

$$v_i = \frac{1}{\lambda} \sum_k a_{k,i} v_k \quad (3)$$

Diferente do *Eigenvector*, o *PageRank Centrality* assume que a contribuição de centralidade dos vértices não é a mesma e deve ser penalizada proporcionalmente de acordo com a quantidade de vizinhos, ou seja, se um vértice com alto grau possuir muitos vizinhos para dividir sua importância, sua centralidade será mais penalizada que os outros nós com menos vizinhos. O *PageRank Centrality* v_i de um vértice i é calculado conforme

equação 4, onde $a_{k,i}$ é a matriz de vértices adjacentes do nó a qual aplicamos a equação, d_k é o grau de saída do vértice k , α e β são constantes e v_k é o valor de *pagerank* do vértice vizinho [Brandes and Erlebach 2005].

$$v_i = \alpha \sum_k \frac{a_{k,i}}{d_k} v_k + \beta \quad (4)$$

O *Closeness Centrality* calcula a distância de um nó para todos os vértices da rede como forma de medir a importância deste vértice. Essa métrica é aplicada conforme a equação 5, onde $d(y, x)$ é a distância entre x e y [Rochat 2009].

$$C(v) = \frac{1}{\sum_y d(y, x)} \quad (5)$$

O *Betweenness Centrality* é uma medida de centralidade que no decorrer do seu cálculo leva em consideração os caminhos mínimos. Matematicamente, podemos obter o *betweenness* v_i de um vértice i através da equação 6, onde σ_{st} é o valor total de caminhos mínimos entre os vértices s e t , e $\sigma_{st}(i)$ é quantidade de caminhos mínimos que passam pelo vértice i [Brandes 2001].

$$v_i = \sum_{s \neq t \neq z} \frac{\sigma_{st}(i)}{\sigma_{st}} \quad (6)$$

Com relação à detecção de comunidade, utilizamos a modularidade, uma função que mede a qualidade da divisão de uma rede em grupos ou comunidades [Newman 2006]. Neste trabalho aplicamos o método heurístico proposto por Blondel et al. [2008], chamado de algoritmo de *Louvain*, que se baseia na maximização da modularidade. Este algoritmo guloso é composto de duas partes, na primeira é designada uma comunidade diferente para cada nó i da rede, ou seja, o número de comunidades é equivalente ao número de nós. Na segunda parte, para cada nó i , leva-se em consideração todos os seus vizinhos. Nessa etapa é avaliado o ganho de modularidade de i , ao mudá-lo para a comunidade de seus vizinhos j . O nó i fica na comunidade onde obtiver o maior ganho de modularidade. Matematicamente, este método pode ser definido por:

$$\Delta Q = \left[\frac{\sum_{in} + k_{i,in}}{2m} - \left(\frac{\sum_{tot} + k_i}{2m} \right)^2 \right] - \left[\frac{\sum_{in}}{2m} - \left(\frac{\sum_{tot}}{2m} \right)^2 - \left(\frac{k_i}{2m} \right)^2 \right], \quad (7)$$

onde \sum_{in} é a soma dos pesos das arestas na comunidade C , \sum_{tot} é a soma dos pesos das arestas incidentes nos nós em C , k_i é a soma dos pesos das arestas incidentes no nó i , $k_{i,in}$ é a soma dos pesos das arestas partindo do nó i para todos os nós em C e m é a soma dos pesos de todas as arestas da rede. Todo esse processo é aplicado repetidas vezes, quando a modularidade máxima é alcançada, ou seja, nenhum nó i pode aumentar sua modularidade, o processo é interrompido.

4. Avaliação da Abordagem Proposta

Essa Seção apresenta uma análise da influência das entidades quando aplicadas diferentes métricas de centralidade e um estudo sobre as comunidades geradas a partir do algoritmo

de *Louvain*. Adicionalmente, detalhamos a metodologia utilizada na aplicação da abordagem proposta.

4.1. Metodologia

Neste trabalho, criamos uma base de dados a partir de informações coletados do Twitter, onde utilizamos a *Search API* do Twitter, que permite a coleta de dados históricos publicados pelos usuários. Para filtrar dados referentes ao evento em estudo, utilizamos um recurso disponível pela API para filtrar informações de acordo com palavras-chave.

Nesse contexto, a nossa coleta de *tweets* foi feita utilizando a palavra-chave “Lava Jato”, uma vez que nossa base de dados é relativa a Operação Lava-Jato, deflagrada em 2014 pela Polícia Federal do Brasil, cujo objetivo consiste em investigar a prática de crimes financeiros e desvio de recursos públicos. Vale ressaltar, que a coleta é relativa ao período de 01/01/2016 à 20/11/2016, pois consideramos somente as fases realizadas em 2016, ou seja, da 22^a à 36^a fase.

Ao longo da criação da base, observamos que existiam *tweets* que apresentavam o termo “Lava Jato”, porém não estavam conectados aos acontecimentos do evento estudado, como por exemplo, *chekins* feitos em postos de lavagem. Com isso, eliminamos esses documentos que não estavam relatando opiniões ou notícias sobre as fases da Operação Lava Jato. Ao final, nossa base consiste em 652.210 *tweets* escritos em português que mencionavam o termo “Lava Jato” e tinham ligação ao contexto em estudo.

Após a geração da base de dados, realizamos o pré-processamento, onde removemos as *urls* e menções dos *tweets* e utilizamos o PolyGlot-NER² [Al-Rfou et al. 2015] para reconhecimento de entidades nomeadas, pois apresenta suporte para o idioma Português em tarefas de processamento de linguagem natural.

Para a construção do grafo, utilizamos a ferramenta Gephi³, que disponibiliza recursos de *plot* de redes, assim como detecção de comunidade. Para o cálculo das medidas de centralidade, utilizamos a ferramenta graph-tool⁴. Por fim, é válido ressaltar que para a geração da rede estudada, consideramos apenas *tweets* que possuíam duas ou mais entidades citadas ao longo do texto, além disso, as entidades que representavam componentes desconexos do grafo foram descartadas, uma vez que não possuíam informações pertinentes. Totalizando assim, 59 entidades detectadas que atendiam essa condição.

4.2. Avaliação das Medidas de Centralidade

As medidas de centralidade selecionadas representam diferentes aspectos da rede, como nós vizinhos, visão geral da rede e arestas incidentes. Com isso, comparamos entre si as medidas que possuem os mesmos aspectos (e.g., *Eigenvector* e *Pagerank*). Com o intuito de apresentar as mesmas entidades nos resultados, selecionamos as 15 entidades mais influentes de cada medida e depois fizemos a interseção entre elas, ou seja, apresentamos aqui somente as entidades mais influentes que apareceram em todas as 6 métricas utilizadas, são elas: “Dilma”, “Eduardo Cunha”, “Lula”, “Michel Temer”, “Odebrecht”, “PF”, “PT”, “Sérgio Moro” e “STF”.

²<http://polyglot.readthedocs.io>

³<https://gephi.org/>

⁴<https://graph-tool.skewed.de>

A Figura 3 apresenta as medidas de centralidade de todas as métricas analisadas, vale ressaltar que as medidas foram normalizadas com valores entre 0 e 1. Para fins de análise, as entidades que aparecem desconexas da rede principal, foram tratadas como ruídos e conseqüentemente excluídas.

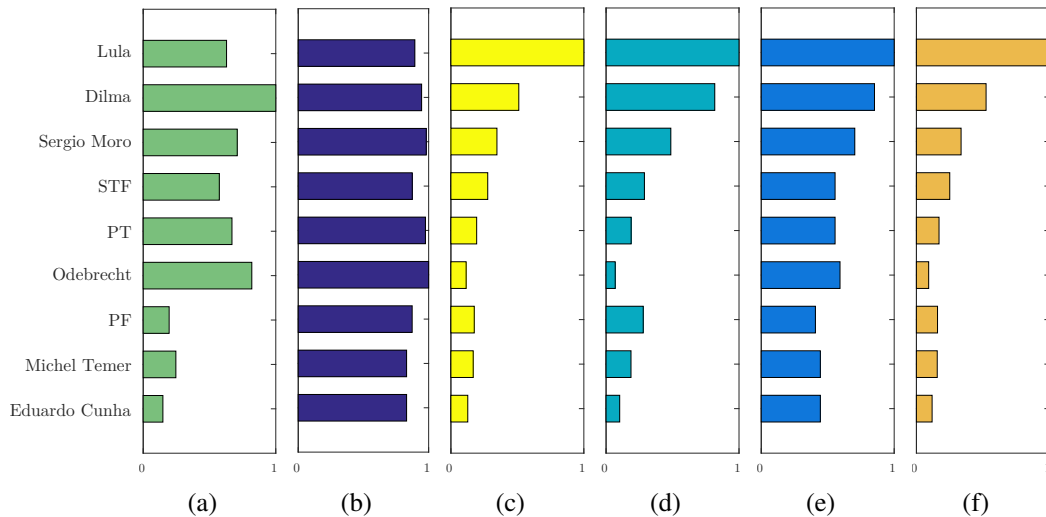


Figura 3. As 9 entidades mais influentes dentre as medidas de centralidade, normalizadas entre 0 e 1. (a) *Betweenness*, (b) *Closeness* (c) *Pagerank*, (d) *Eigenvector*, (e) *Degree*, (f) *Weighted Degree*.

Betweenness e Closeness

Primeiro comparamos duas métricas de centralidade que dão uma visão geral da rede, são elas *Closeness* e *Betweenness*. A *Closeness* apresenta a distância média de um vértice para todos os outros da rede. Nessa medida, os valores de todas as entidades ficaram bem próximos, conforme apresentado na Figura 3(b). Isso demonstra que todas as entidades estão relativamente próximas uma das outras, pois todas elas fazem parte do mesmo evento. A entidade que apresenta maior *Closeness* é a “Odebrecht”, pois a sua distância média é a menor em relação a todas as outras entidades, uma vez que a empreiteira é uma das entidades mais citadas na operação Lava Jato.

Conforme apresentado na Seção 3 o *Betweenness* mede a frequência que um vértice i aparece nos caminhos mínimos entre os vértices s e t . Assim, percebemos por essa medida que a entidade “Dilma” é a mais influente, logo podemos inferir que é a entidade que possui uma ligação mais central em relação aos outros, ou seja, para os usuários do Twitter, a entidade “Dilma” é a que possui maior relacionamento com as outras entidades da Lava Jato. Outro fator a se observar, é que a entidade “Odebrecht” aparece como segundo nó mais influente de acordo com essa medida de centralidade, uma vez que muitos dos escândalos relacionados à operação Lava Jato estão relacionados à empreiteira, logo as entidades envolvidas têm conexão com a empresa.

Pagerank e Eigenvector

Neste trabalho, comparamos *Pagerank* e *Eigenvector*, pois conforme apresentado na Seção 3, eles diferem apenas na contribuição da centralidade dos vértices. Como pode ser observado nas Figuras 3(c) e 3(d), tanto o *Eigenvector* quanto o *Pagerank* possuem resultados próximos, ou seja, a contribuição da centralidade dos vértices faz com que as entidades tenham importâncias diferentes na rede. Porém a ordem de influência é pouco alterada, pois observamos que a diferença de ambos aparece na quinta entidade mais influente.

No *Eigenvector* a entidade “PF” possui mais influência que a entidade “PT”, enquanto no *Pagerank* é o contrário. Como o *Pagerank* assume que a contribuição de centralidade dos vértices não é a mesma, a medida penaliza a entidade de acordo com a quantidade de nós vizinhos. Percebemos então que o número de nós ligados a essas entidades influenciou na importância do nó em questão. Analisando os dados, enquanto a entidade “PT” possui 14 nós adjacentes, a entidade “PF” possui apenas 7.

Com relação as entidades mais influentes, “Lula” e “Dilma” se destacam em ambas as medidas de centralidade. Na rede estudada, os nós adjacentes dessas entidades também possuem uma medida alta de influência, além disso, são os nós que possuem mais vizinhos respectivamente. Com isso, percebemos que ambos são nós centrais da rede, aparecendo com o maior número de conexões. Logo, conforme os *tweets* dos usuários, as entidades “Lula” e “Dilma” são as mais influentes na operação deflagrada pela Polícia Federal, pois estão altamente conectados com outras entidades influentes.

Degree e Weighted Degree

Degree e *Weighted Degree* são analisadas juntos pois são duas medidas de centralidade que levam em consideração somente as arestas incidentes no vértice em questão. Do mesmo modo que *Pagerank* e *Eigenvector*, as Figuras 3(e) e 3(f) ilustram “Lula” e “Dilma” como as entidades mais influentes, pois ambas possuem o maior número de arestas incidentes, além do peso de suas arestas serem maiores que as das demais entidades, ou seja, são as entidades que mais possuem ligações com outras entidades na Lava Jato, além disso essas ligações são as que mais se repetem na rede.

Porém, é válido ressaltar a diferença de influência da entidade “Odebrecht”. Enquanto na medida *Degree* é a quarta entidade mais importante, no *Weighted Degree* é a nona mais influente, como ilustra a Figura 3(f). Isto é explicado pelo fato de que por mais que a “Odebrecht” possua várias arestas incidentes, o peso das mesmas é baixo, o que a torna pouco influente nessa métrica.

4.3. Avaliação de Comunidades

A Figura 4 ilustra a rede social modelada a partir do contexto estudado. No grafo apresentado, cada comunidade é representada por uma cor distinta. O tamanho dos vértices corresponde ao seu valor de *PageRank*, enquanto tamanho de seu rótulo (nome) representa a medida de centralidade *Betweenness*. A espessura das arestas representa seu peso.

Na rede estudada foram detectadas 5 comunidades (Figura 4). Porém, por se tratar de um algoritmo guloso, dependendo do nó de origem escolhido, o número de

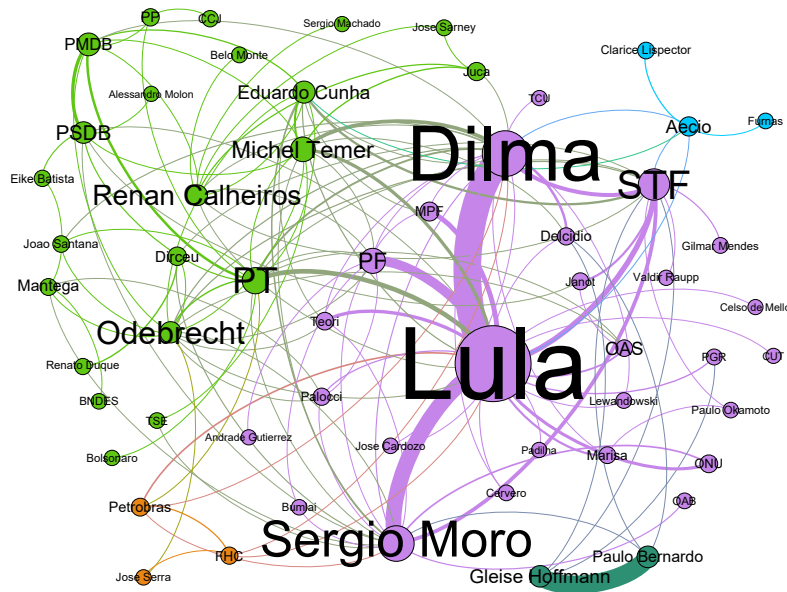


Figura 4. Rede social gerada a partir dos *tweets* dos usuários em relação a operação Lava Jato. A cor do vértice indica sua comunidade. O tamanho do vértice corresponde ao seu valor *PageRank*, e o tamanho do seu rótulo corresponde ao seu *Betweenness*. A espessura das arestas representa seu peso.

comunidades pode mudar. É importante ressaltar que o algoritmo de *Louvain* escolhe o nó de origem de forma aleatória.

A comunidade verde escuro é composta pelas entidades “Gleisi Hoffmann” e “Paulo Bernardo”, ambas as entidades foram agrupadas nessa comunidade por terem sido indiciadas juntos como réus da Operação Lava Jato, além disso, são marido e mulher. Nos *tweets* relacionados a este assunto, essas entidades sempre apareciam juntas, como mostra o peso da aresta na Figura 4, representado por sua espessura.

Algumas comunidades apresentaram ruídos, como no caso da azul claro, percebemos que a entidade “Clarisse Lispector” não é uma das personagens da operação Lava Jato, porém em alguns casos quando os usuários do Twitter se referiam a entidade “Aécio”, eles o relacionavam com a famosa escritora “Clarice Lispector”, um exemplo de *tweet* é: “Aécio já é mais citado na Lava Jato que Clarice Lispector no Facebook”.

As maiores comunidades apresentadas (verde e roxo), têm este tamanho pois utilizando o algoritmo de *Louvain*, a modularidade é maximizada de forma que os agrupamentos tenham uma densidade interna entre os nós maior do que a densidade entre os nós que interligam as comunidades vizinhas, ou seja, a modularidade maximizada apresenta os nós que possuem modularidade alta entre si, criando assim uma comunidade. Isto implica que as entidades agrupadas nessas comunidades estão ligadas dentro de um sub-evento no contexto estudado (neste artigo, caracterizamos sub-evento com um evento originado a partir de um outro evento). Por exemplo, as entidades “Lula” e “Sergio Moro” estão na mesma comunidade, pois ambas estão relacionadas a um mesmo sub-evento. No âmbito da operação Lava Jato, a entidade “Sergio Moro” concedeu um mandado de condução coercitiva para que a entidade “Lula” prestasse depoimento nas investigações.

Com relação a comunidade laranja, percebemos que as entidades também estão relacionadas a um sub-evento, como pode ser observado nos *tweets* “Lava-Jato parada na Corte cooptado: Teori envia para Moro suspeita de propina na Petrobras no governo FHC” e “José Serra é citado em negociação de delação premiada da OAS na Lava Jato #epoca #exame #recordtv #moro #fhc #psdb”. Ambos extraídos da base de dados coletada.

4.4. Discussão

Percebemos que os dados coletados a partir de sensores colaborativos (usuários de redes sociais), servem para detecção de entidades influentes a partir de medidas de centralidade. Embora não haja uma medida de centralidade geral, Como pode ser observado na Tabela 1, cada medida fornece informações complementares sobre a rede, dependendo do que está sendo analisado, ou seja, analisá-las em conjunto apresenta diferentes aspectos da rede e de seus personagens.

Tabela 1. Medidas de Centralidade e suas entidades mais influentes.

Medidas de Centralidade	Aspecto da Métrica	Entidades mais influentes
<i>Betweenness</i>	Caminhos entre nós	Dilma, Odebrecht, Sergio Moro PT e Lula
<i>Closeness</i>	Caminhos entre nós	Odebrecht, Sergio Moro, PT Dilma e Lula
<i>Eigenvector</i>	Nós vizinhos	Lula, Dilma, Sergio Moro STF e PF
<i>Pagerank</i>	Nós vizinhos	Lula, Dilma, Sergio Moro STF e PT
<i>Degree</i>	Arestas incidentes	Lula, Dilma, Sergio Moro Odebrecht e STF
<i>Weighted Degree</i>	Arestas incidentes	Lula, Dilma, Sergio Moro STF e PT

Podemos perceber, conforme apresentado na Tabela 1, que *Closeness* e *Betweenness* foram as duas únicas medidas de centralidade que divergiram das outras, no que se refere a entidade mais influente, pois dentre as medidas de centralidade utilizadas neste artigo, são as únicas que estabelecem uma relação do caminho dos nós percorrido entre dois vértices. Com relação aos dados coletados sobre a operação Lava Jato, demonstramos que a entidade “Odebrecht” é o nó central da rede, ou seja, está diretamente conectada a várias entidades, uma vez que é uma das empresas investigadas na operação. Além disso, demonstramos também que a entidade “Dilma” é o maior elo de ligação entre as entidades, pois na época era a presidente do Brasil e seu nome estava ligado à várias entidades (pessoas ou organizações).

As entidades “Lula”, “Dilma” e “Sérgio Moro”, por outro lado, aparecem respectivamente como as entidades mais influentes no *Eigenvector*, *Pagerank*, *Degree* e *Weighted Degree*. Isto acontece devido ao alto grau de conexão destas entidades com os seus nós vizinhos, ou seja, além das entidades possuírem as maiores quantidades de vizinhos, suas arestas possuem pesos maiores que os outros. Como estas medidas levam em consideração essas características, essas entidades apresentaram ser as mais influentes da rede. No evento estudado, demonstramos que estas 3 entidades são as mais influentes,

possuindo uma forte ligação entre elas e entre os nós vizinhos, demonstrando assim que são peças chaves da operação Lava Jato.

Em relação à detecção de comunidades, observamos que o algoritmo de *Louvain* é uma abordagem viável a ser aplicada ao contexto de Redes Sociais Online. Ainda mais, demonstramos que as comunidades geradas agruparam as entidades que possuem ligação dentro de um mesmo sub-evento. Onde cada comunidade apresenta um cenário diferente que pode ser estudado em particular.

5. Conclusão

Neste trabalho apresentamos uma análise de entidades influentes sob a perspectiva dos comentários de usuários a respeito de um determinado evento em Redes Sociais Online, para isto utilizamos medidas de centralidade com o intuito de identificar quais são essas entidades influentes, além disso separamos as entidades de acordo com sua comunidade, utilizando o algoritmo de *Louvain*.

Os resultados apresentados demonstram que o pré-processamento automatizado proposto, é viável para modelar a rede. Com relação a medidas de centralidade, percebemos que não há uma métrica geral a ser aplicada no contexto de Redes Sociais Online, como cada medida fornece diferentes informações sobre a rede, elas se complementam. Percebemos que dependendo da medida de centralidade estudada, as entidades mais influentes variaram de acordo com o aspecto da métrica, isto demonstra que embora todas as entidades façam parte do mesmo evento, algumas tem influência maior dependendo do que está sendo estudado. No que diz respeito a detecção de comunidades, percebemos que o algoritmo de *Louvain* agrupou as entidades que estão diretamente ligadas a um sub-evento dentro do contexto da Operação Lava Jato.

Como trabalhos futuros podem ser utilizadas outras bases sobre o mesmo evento para comparação se há diferença de influência entre as entidades de acordo com a base estudada, além disso pode-se aplicar outras medidas de centralidade para analisar outros aspectos da rede e das relações entre as entidades.

Referências

- Al-Rfou, R., Kulkarni, V., Perozzi, B., and Skiena, S. (2015). Polyglot-ner: Massive multilingual named entity recognition. In *Proceedings of the 2015 SIAM International Conference on Data Mining*, pages 586–594. SIAM.
- Almeida, T. G., Souza, B. A., Menezes, A. A., Figueiredo, C. M., and Nakamura, E. F. (2016). Sentiment analysis of Portuguese comments from Foursquare. In *Proceedings of the 22Nd Brazilian Symposium on Multimedia and the Web*, pages 355–358. ACM.
- Atefeh, F. and Khreich, W. (2015). A survey of techniques for event detection in twitter. *Computational Intelligence*, 31(1):132–164.
- Barrat, A., Barthelemy, M., Pastor-Satorras, R., and Vespignani, A. (2004). The architecture of complex weighted networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101(11):3747–3752.
- Benevenuto, F. R., Silveira, D., Bombonato, L., Fortes, R., and Pereira Junior, Á. R. (2011). Entendendo a twitteresfera brasileira. In *Proceedings of the 8th Simpósio Brasileiro de Sistemas Colaborativos*.
- Beveridge, A. and Shan, J. (2016). Network of thrones. *Math Horizons*, pages 18–22.

- Blondel, V. D., Guillaume, J.-L., Lambiotte, R., and Lefebvre, E. (2008). Fast unfolding of communities in large networks. *Journal of statistical mechanics: theory and experiment*, 2008(10):P10008.
- Brandes, U. (2001). A faster algorithm for betweenness centrality. *Journal of mathematical sociology*, 25(2):163–177.
- Brandes, U. and Erlebach, T. (2005). *Network analysis: methodological foundations*, volume 3418. Springer Science & Business Media.
- Cha, M., Haddadi, H., Benevenuto, F., and Gummadi, P. K. (2010). Measuring user influence in twitter: The million follower fallacy. In *Proceedings of the 4th International AAAI Conference On Web and Social Media*, pages 335–338. AAAI.
- Freeman, L. C. (1978). Centrality in social networks conceptual clarification. *Social networks*, 1(3):215–239.
- Jamali, M. and Abolhassani, H. (2006). Different aspects of social network analysis. In *Proceedings of the International Conference on Web Intelligence*, pages 66–72. IEEE.
- Kumar, R., Novak, J., and Tomkins, A. (2010). Structure and evolution of online social networks. In *Link mining: models, algorithms, and applications*, pages 337–357. Springer.
- Liu, X. F., Liu, Y.-L., Lu, X.-H., Wang, Q.-X., and Wang, T.-X. (2016). The anatomy of the global football player transfer network: Club functionalities versus network properties. *PloS One*, 11(6):e0156504.
- Mislove, A., Marcon, M., Gummadi, K. P., Druschel, P., and Bhattacharjee, B. (2007). Measurement and analysis of online social networks. In *Proceedings of the 7th of Internet Measurement Conference*, pages 29–42. ACM.
- Newman, M. E. (2003). The structure and function of complex networks. *SIAM review*, 45(2):167–256.
- Newman, M. E. (2006). Modularity and community structure in networks. *Proceedings of the national academy of sciences*, 103(23):8577–8582.
- Newman, M. E. (2008). The mathematics of networks. *The new palgrave encyclopedia of economics*, 2(2008):1–12.
- Oliveira, L. S., Amaral, M. S., and Aguiar, I. S. (2015). O parlamento brasileiro no twitter: uma análise de rede social. In *Proceedings of the 12th Simpósio Brasileiro de Sistemas Colaborativos*, pages 138–143.
- Petrović, S., Osborne, M., and Lavrenko, V. (2010). Streaming first story detection with application to twitter. In *Human Language Technologies: The 2010 Annual Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics*, pages 181–189. Association for Computational Linguistics.
- Rochat, Y. (2009). Closeness centrality extended to unconnected graphs: The harmonic centrality index. In *Proceedings of the 6th International Conference on Applications of Social Network Analysis*.
- Rostami, A. and Mondani, H. (2015). The complexity of crime network data: A case study of its consequences for crime control and the study of networks. *PloS one*, 10(3):e0119309.
- Sakaki, T., Okazaki, M., and Matsuo, Y. (2010). Earthquake shakes Twitter users: real-time event detection by social sensors. In *Proceedings of the 19th International Conference on World Wide Web*, pages 851–860. ACM.
- Souza, B. A., Almeida, T. G., Menezes, A. A., Nakamura, F. G., Figueiredo, C. M., and Nakamura, E. F. (2016). For or against?: Polarity analysis in tweets about impeach-

ment process of brazil president. In *Proceedings of the 22Nd Brazilian Symposium on Multimedia and the Web*, pages 335–338. ACM.

Utilizando Teoria da Informação para Identificar Conversas de Pedofilia em Redes Sociais de Mensagens Instantâneas

Juliana G. Postal^{1,2}, Eduardo F. Nakamura¹

¹Instituto de Computação – Universidade Federal do Amazonas (UFAM)
Av. General Rodrigo Octávio, 6200, CEP: 69080-900, Manaus – AM – Brasil

²Samsung Instituto de Desenvolvimento em Informática da Amazônia (SIDIA)
Av. Min. João G. de Souza, 880, CEP: 69075-830, Manaus – AM – Brasil

{juliana.postal,nakamura}@icomp.ufam.edu.br

Abstract. *Social networks of instant messaging, such as Whatsapp, represent a real threat for children and teenagers, who can easily become targets of sexual predators and pedophiles. Hence, the automatic identification of pedophile chats represent a key tool to protect the young users of social networks. However, these networks have two sensitive particularities: (1) messages are often stored only locally; (2) mobile devices of limited processing power are the major interfaces. In this context, the state-of-the-art has a prohibitive cost to run on mobile devices. On the other hand, the nature of the peer-to-peer communication of such networks make it inivable to process the chat on the cloud, without risking to expose the victims. In this work, we present a new method, based on the Shannon entropy and the Jensen-Shannon divergence, to identify pedophile chats, that achieves nearly 90% of F_1 and $F_{0.5}$, and can be up to 72.8% faster than the state-of-the-art.*

Resumo. *Redes sociais privadas de mensagens instantâneas, como Whatsapp, representam uma ameaça para crianças e adolescentes que podem se tornar alvos de pedófilos. Portanto, a identificação automática de conversas de pedofilia representa uma importante ferramenta para proteção de jovens usuários destas redes. Contudo, estas redes possuem como particularidades: (1) as mensagens são tipicamente armazenadas apenas localmente; e (2) dispositivos móveis de capacidade limitada de processamento são os principais veículos de utilização. Neste contexto, as soluções de estado-da-arte possuem um custo computacional proibitivo para execução em dispositivos móveis. Em contrapartida, a natureza da comunicação ponto-a-ponto destas redes torna, em muitos casos, inviável o processamento em nuvem sem correr o risco de expor as vítimas de pedofilia. Neste trabalho, apresentamos um método, baseado na entropia de Shannon e na divergência de Jensen-Shannon, capaz de identificar conversas de pedofilia com um desempenho próximo a 90%, considerando as medidas F_1 e $F_{0.5}$, e que chega a ser 72,8% mais rápido que o estado-da-arte.*

1. Introdução

Crianças e adolescentes (aqui referenciados como **jovens**) são usuários frequentes de diferentes redes sociais online (RSO) [Kontostathis et al. 2010]. Segundo Livingstone et al. [2010], 59% dos jovens¹ possuem um perfil em alguma rede social, e utilizam a Internet principalmente em casa (87%) e na escola (63%). Embora nesses locais os responsáveis estejam normalmente por perto, é impossível manter a supervisão por tempo integral dos jovens e de suas interações em ambientes online. O anonimato proporcionado pela Internet apresenta riscos [Reis et al. 2016], que esses jovens usuários podem não possuir maturidade para perceber. Além disso, os modelos de privacidade atuais em RSOs nem sempre oferecem proteção adequada para os diferentes perfis de usuários [Silva et al. 2016]. Como consequência, RSO, em especial as baseadas em mensagens instantâneas, representam uma ameaça real para crianças e adolescentes que podem ser assediados por pedófilos². Portanto, a identificação automática de conversas de pedofilia representa uma importante ferramenta para proteção de jovens usuários de RSO.

Os principais desafios relacionados à identificação automática de conversas de pedofilia incluem: (a) bases de dados escassas e desbalanceadas e (b) erros de digitação, abreviações e gírias incomuns. As bases de dados são escassas devido à sensibilidade dos dados e à proteção das vítimas. Como resultado, as bases desbalanceadas podem levar a conclusões enganosas contaminadas pela alta acurácia das classes mais frequentes [Liu e Chawla 2011]. Os erros, abreviações e gírias (e.g., `pls` que significa `please` e `sexx` ao invés de `sex`) podem ser utilizados propositalmente para enganar observadores externos (algoritmos ou pessoas).

Os métodos atuais mais eficazes para a identificação de conversas de pedofilia são baseados na abordagem *Bag of Words* (BoW) que utiliza todas as palavras e suas ocorrências como características para alimentar um algoritmo de aprendizagem de máquina (e.g., *support vector machine* - SVM) [Villatoro-Tello et al. 2012]. Estas soluções são computacionalmente intensas e, frequentemente, trabalham com um vocabulário dinâmico e crescente. Portanto, estas soluções não são escaláveis em ambientes de redes de troca de mensagens instantâneas como Whatsapp, onde as mensagens não são processadas por servidores, mas trocadas ponto-a-ponto entre celulares ou dispositivos móveis. Nesse tipo de ambiente com restrições severas de privacidade e de processamento, os métodos tradicionais para identificação de mensagens de pedofilia apresentam um custo proibitivo para processamento local e, o processamento em nuvem não é, normalmente, uma opção viável, pois as mensagens são armazenadas apenas localmente.

A principal contribuição deste trabalho é um método baseado em quantificadores de Teoria da Informação para identificação de mensagens de pedofilia em RSO de troca de mensagens. O método proposto utiliza entropia de Shannon e divergência de Jensen-Shannon para reduzir a dimensão dos dados e aumentar a eficiência (menor custo computacional) mantendo uma eficácia próxima a 90%, considerando as métricas F_1 e $F_{0,5}$. Os resultados mostram que para conversas com mais de 2.500 palavras o método proposto chega a ser 72,8% mais rápido que o estado-da-arte.

¹Pesquisa realizada com 25.142 crianças e adolescentes entre nove e dezesseis anos.

²Pedófilo é um adulto cujas fantasias focam em jovens como parceiros sexuais [Lanning et al. 2010].

O restante deste artigo está organizado como descrito a seguir. A seção 2 apresenta os principais trabalhos relacionados com a identificação de conversas de pedofilia. A seção 3 detalha a abordagem proposta. Os resultados, comparando o método proposto com o estado-da-arte, são apresentados e discutidos na seção 4. A seção 5 apresenta as conclusões e trabalhos futuros. A título de referência rápida, o apêndice A apresenta alguns conceitos utilizados ao longo do artigo (TF-IDF, F_1 e $F_{0,5}$).

2. Trabalhos Relacionados

Pendar [2007] foi o primeiro autor a abordar o tema de detecção de pedofilia em conversas online, utilizando a base de dados da organização *Perverted Justice*³. Como estratégia de pré-processamento, para cada conversas as linhas escritas pelo pedófilo e pela vítima foram separadas em arquivos diferentes e as *stop words*⁴ foram removidas. Para extrair características destas conversas, o autor testou N-Gram de grau 1, 2 e 3 e ponderando os termos utilizando TF-IDF (*term-frequency, inverted document frequency*). O algoritmo kNN foi utilizado, obtendo 94% de medida F_1 , utilizando trigramas como características.

Villatoro-Tello et al. [2012] venceram a competição PAN 2012⁵ para classificar conversas de pedofilia, atualmente representado o estado-da-arte em relação à eficácia na detecção desse tipo de conversa. Os autores utilizaram a base de dados do próprio evento, que inclui a base *Perverted Justice* em sua composição. Os autores filtraram as conversas com: (a) apenas um autor; (b) menos de seis linhas escritas por cada autor; e (c) longas cadeias de caracteres não-ascii; afirmando que estas conversas não possuem informação suficiente. As características utilizadas foram os valores de TF-IDF de todas as palavras do corpo de conversas. O resultado foi um F_1 de 95% utilizando o SVM.

Peersman et al. [2012] apresentaram uma abordagem em três etapas que combina previsões dos três níveis de uma conversa: o nível de mensagem individual, o nível de usuário, e a conversa inteira como combinação das duas anteriores. As características utilizadas são os valores de TF-IDF dos termos das conversas, e das linhas de cada autor, separadamente, para permitir a previsão em três etapas. Foram utilizados dois classificadores SVM: um para detectar uma linha de uma conversa predatória; outro para classificar um participante da conversa como um pedófilo ou não pedófilo. Os resultados desses dois classificadores foram combinados para nivelar o resultado final balanceando a precisão e revocação de cada classificador, obtendo 90% de medida F_1 .

Cheong et al. [2015] identificaram pedófilos em uma base de conversas e mensagens de fóruns do jogo infantil *Movie Star Planet*, coletados durante 15 minutos de jogo. Como estratégia de pré-processamento, as linhas das conversas foram agrupadas em vítimas e pedófilos, por usuário/indivíduo, sendo que nesse último caso foram mantidas apenas as linhas onde há claramente um discurso predatório. Os autores utilizaram o TF-IDF para obter informações léxicas das conversas, análise de sentimento para detectar o comportamento de *rule-breaker* e a seleção manual dos trechos finais das conversas. Para a classificação, os autores utilizaram o *Naive Bayes*, obtendo 53% de medida F_1 .

Morris e Hirst [2012] utilizaram características léxicas e comportamentais para identificar conversas de pedofilia. Os autores também utilizaram TF-IDF para representar

³<http://www.perverted-justice.com>.

⁴*Stop words* são palavras muito frequentes e pouco discriminantes.

⁵<http://pan.webis.de/clef12/pan12-web/>.

as características léxicas das conversas, acrescido de características comportamentais provenientes de informações que podem ser extraídas das conversas, tais como o número de mensagens enviadas por um indivíduo e o número total de conversas que este indivíduo participou. Para identificar predadores, os autores utilizaram o SVM e dois filtros para distinguir predadores de vítimas. A eficácia do método foi 77% de F_1 .

Parapar et al. [2012] incorporaram *Linguistic Inquiry and Word Count* (LIWC) no processo de extração de características para a identificação de conversas de pedofilia. Como estratégia de pré-processamento, os autores criaram arquivos diferentes para cada indivíduo. Para a extração de características foram utilizadas as técnicas LIWC para obter a informação de até que ponto diferentes assuntos são usados por pessoas em conversas, e TF-IDF para as características léxicas do texto. O classificador usado foi o SVM que obteve 83% de medida F_1 .

Bogdanova et al. [2012] utilizaram análise de sentimento para verificar se uma conversa é predatória ou não. Três bases foram utilizadas pelos autores: (1) *Perverted Justice* para formar o conjunto de dados positivos; (2) *logs* de conversas de *cybersex* adulto; e (3) o *corpus* de conversas chamado NPS de acesso pago. Os autores utilizaram a similaridade semântica de Leacock e Chodorow para encontrar trechos onde o discurso é focado em um único assunto. Estes cálculos consecutivos de similaridade semântica criam cadeias de termos semanticamente relacionados, chamados *Lexical Chains*. Para diferenciar conversas regulares e de pedofilia, os autores estabelecem dois valores, 0.5 e 0.7, como limiares para os tamanhos destas *Lexical Chains*, que se forem extrapolados a conversa é considerada de pedofilia. Não há uma medição de acertos e erros ou técnica de validação descrita nos resultados do trabalho.

Em relação ao uso da entropia de Shannon e da divergência de Jensen-Shannon para caracterização de textos, Rosso et al. [2009] utilizaram estes quantificadores de informação para caracterizar obras de Shakespeare dentre outros autores renascentistas ingleses. Como estratégia de pré-processamento, os autores realizaram manualmente o trabalho de um *parser* gramatical para remover palavras funcionais e pontuações e aplicar *stemming*. Entretanto, os textos não são classificados, apenas caracterizados em relação usando quantificadores de Teoria da Informação.

3. Abordagem Proposta: H+JSD

A abordagem proposta, referenciada como **H+JSD**, utiliza entropia de Shannon (H) e divergência de Jensen-Shannon (JSD) como características descritivas das conversas que, então, são utilizadas para classificar se uma determinada conversa é de pedofilia ou não. A abordagem H+JSD é ilustrada na figura 1(a) e detalhada a seguir, e diverge da abordagem do estado-da-arte, conforme ilustra a figura 1(b).

3.1. Pré-Processamento

De forma semelhante a Rosso et al. [2009], o pré-processamento utilizado neste trabalho consiste no mapeamento das palavras em dois grandes grupos gramaticais: as palavras funcionais e as léxicas. O grupo de palavras funcionais é composto de palavras que possuem significado semântico fraco, útil apenas para estruturação das frases, raramente admite novas palavras. As classes gramaticais que compõem este grupo são verbos auxiliares, pronomes, conjunções, preposições, determinantes e modais. O grupo de palavras

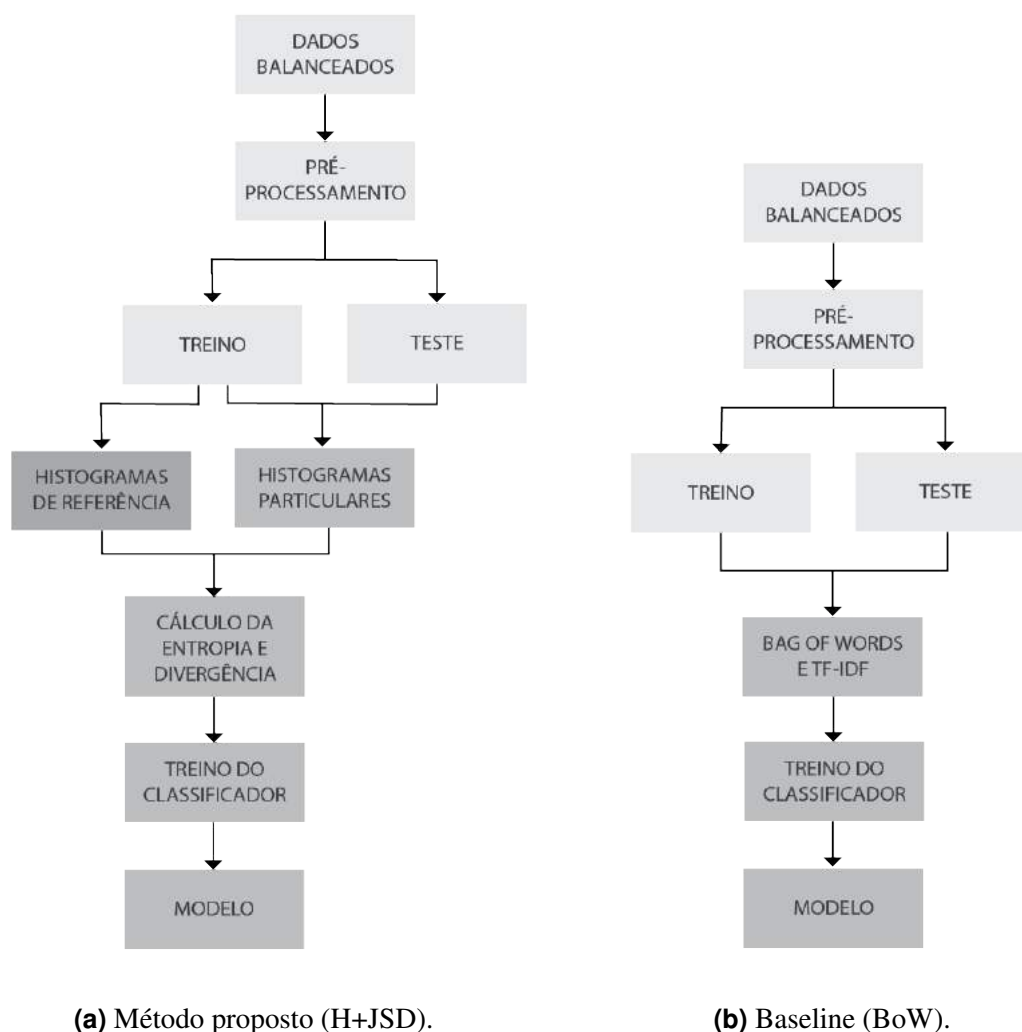


Figura 1. Fluxos do método proposto (H+JSD) comparado ao baseline (BoW).

léxicas inclui palavras que fornecem significado semântico para as sentenças e é composto por substantivos, verbos principais, adjetivos, interjeições e advérbios.

Nesta etapa, utilizamos o *Stanford Core NLP* [Manning et al. 2008; 2014] para descobrir a classe gramatical de cada palavra e em seguida verificar se ela se encaixa no grupo de funcionais ou léxicas. O passo seguinte é a filtragem das palavras funcionais, consideradas *stop words*.

3.2. Extração de Características

O processo de extração de características inicia com a contabilização das frequências das palavras visando entender sua distribuição no *corpus*. A seguir, é necessário converter estas palavras e suas frequências em dois tipos de histogramas: o primeiro representa a frequência média das palavras de um *corpus*, chamado de histograma de referência; o segundo representa a frequência das palavras de uma única conversa, chamado histograma individual. Todos os histogramas são normalizados de maneira que a soma de todas as classes (probabilidades) é sempre igual a um (distribuição de probabilidades discreta).

O histograma de referência é calculado utilizando a partição de treino. Existem três tipos de entidades em nossa base de dados: predador (predófilo), vítima e regular (nem vítima e nem predador), sendo assim teremos um histograma de referência para cada tipo entidade. Os valores associados às palavras nestes histogramas representam a sua probabilidade de aparecer em um texto daquele tipo de entidade. O histograma individual possui as mesmas palavras do histograma de referência, e seus valores expressam a frequência relativa das palavras presentes na conversa que o originou.

3.2.1. Entropia de Shannon Normalizada (H)

A entropia, no contexto de processamento de texto, descreve a riqueza no uso de um vocabulário. A entropia de Shannon [MacKay 2003] de uma conversa x é dada por

$$S(x) = - \sum_{w \in V} p(w) \log_2 p(w), \quad (1)$$

onde $p(w)$ é a probabilidade de ocorrência da palavra w do vocabulário V . Neste trabalho utilizamos a entropia normalizada, dada por

$$H(x) = \frac{S(x)}{S_{\max}(x)}, \quad (2)$$

onde $S_{\max}(x) = \log_2 |V|$ é a entropia máxima e $|V|$ é o tamanho do vocabulário. Valores próximos a zero indicam poucas palavras muito frequentes, enquanto valores próximos a um indicam uma distribuição mais uniforme entre as palavras.

Bogdanova et al. [2012] afirmam que pedófilos tendem a manter o assunto de cunho sexual com jovens em conversas. A entropia é capaz de detectar esta característica de vocabulário repetitivo em relação às conversas regulares. O processo de obtenção dos valores de entropia utiliza as palavras do histograma de referência como guia para sabermos quais palavras devemos contabilizar a frequência relativa. Portanto, computamos três valores de entropia como característica para cada conversa (um para cada vocabulário considerado: predador, vítima e regular).

No entanto, é possível que em conversas regulares haja repetição de assunto, uma vez que o estudo das palavras é feito do ponto de vista da frequência e não da semântica. Nesse caso, o comportamento da entropia será semelhante às conversas de pedofilia. Por este motivo, a utilizamos a entropia em conjunto com a divergência de Jensen-Shannon.

3.2.2. Divergência de Jensen-Shannon (JSD)

A divergência de Jensen-Shannon (JSD) mede a similaridade entre duas distribuições de probabilidade p e q [Lin 1991], e é dada por

$$JSD(p, q) = S\left(\frac{p+q}{2}\right) - \frac{S(p) + S(q)}{2}, \quad (3)$$

onde $S(\cdot)$ é a entropia de Shannon (equação 1). Quanto mais similares as distribuições, mais próximo de zero é a JSD, e quanto mais distintas, mais próximo de um é a JSD.

No contexto deste trabalho, cada um dos histogramas de referência representa o padrão de discurso de um determinado tipo de entidade (predador, vítima e regular). O cálculo de divergência é feito entre o histograma particular e cada um dos histogramas de referência, resultando em três valores de JSD. Portanto, cada conversa terá seis características, que serão as entropias e as divergências em relação ao padrão de discurso de cada tipo de entidade, indicando se cada entidade de cada conversa assemelha-se mais com um predador, uma vítima ou uma pessoa regular.

3.3. Classificação

Para a elaboração do modelo, utilizamos o SVM para realizar as previsões, pois conforme mostram os trabalhos relacionados (seção 2), o SVM produz os resultados mais precisos. O ajuste de parâmetros e escolha do *kernel* foram feitos de forma empírica, com o objetivo de maximizar a eficácia da classificação segundo as medidas F_1 e $F_{0,5}$. A metodologia de ajustes dos parâmetros é detalhada a seguir.

4. Avaliação Experimental

Nesta seção, descrevemos a metodologia de avaliação utilizada, bem como os parâmetros escolhidos, e apresentamos uma discussão dos resultados referentes à: (1) eficácia da classificação; (2) análise de complexidade dos métodos; e (3) eficiência da execução.

4.1. Metodologia (Materiais e Métodos)

Neste trabalho, utilizamos a base de dados pública do *International Competition on Plagiarism Detection* (PAN) de 2012⁶, que abordou o tema de aliciamento em conversas online. Esta é a base utilizada por Villatoro-Tello et al. [2012], cuja solução escolhemos como *baseline* por ser o estado-da-arte em desempenho de classificação (seção 2). O *baseline* será referenciado no restante deste documento como **BoW** (*Bag of Words*). A base original é desbalanceada, apresentando 208.248 conversas regulares e 3.677 de pedofilia. Para evitar viés, um subconjunto balanceado da base original, composto pelas 3.677 conversas de pedofilia, e 3.677 conversas do tipo regular escolhidas aleatoriamente.

Para uma comparação justa entre os métodos, utilizaremos a estratégia de seleção de palavras do BoW para que ambos os métodos utilizem as mesmas palavras nos experimentos, isolando apenas a forma de transformá-las em características. Este processo é ilustrado na figura 2.

Os métodos foram implementados usando Matlab R2015b, Weka 3.8.0, e Stanford Core NLP 3.7.0. Os experimentos com medições de tempo foram executados em um PC com 8GB de memória RAM, processador Intel core i5 2,9 GHz, HD SATA de 1TB.

Para todos os experimentos, adotamos uma avaliação baseada em validação cruzada de dez grupos (*ten-fold cross-validation*). A avaliação de eficácia inclui as medidas F_1 e $F_{0,5}$. A medida F_1 serve como referência comparativa para os trabalhos relacionados e pondera igualmente a Precisão e Revocação dos métodos. A medida $F_{0,5}$ prioriza os valores de Precisão dos resultados e também foi utilizada por Villatoro-Tello et al. [2012].

Os intervalos de confiança referem-se a $\alpha = 0.05$ (95% de confiança).

⁶Disponível em: <http://pan.webis.de/clef12/pan12-web/>.

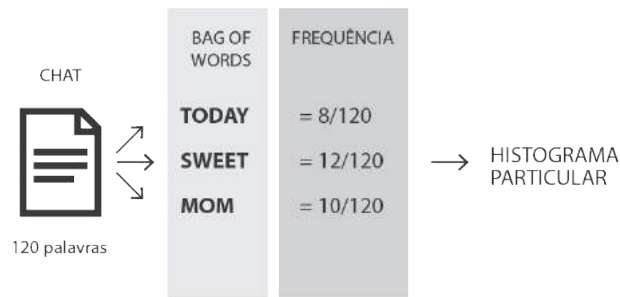
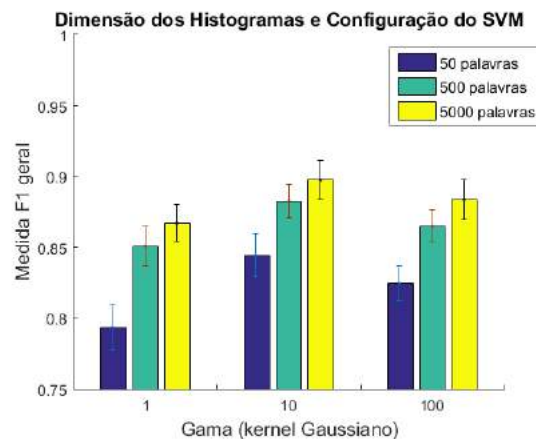


Figura 2. Processo de seleção de palavras.

Ajuste Empírico de Parâmetros

Diferente do BoW, no H+JSD, o histograma de referência não é o estado final das características, mas nessa etapa é importante descobrir um tamanho de vocabulário que não sacrifique os resultados de classificação e que reduza o custo computacional total. Sendo assim, para encontrar empiricamente os valores ideais de dimensão do vocabulário e configuração do SVM, realizamos uma série de experimentos onde testamos os tamanhos de vetor 50, 500 e 5.000 e os valores de γ iguais a 1, 10 e 100 para o *kernel* Gaussiano. Por fim, observamos os valores de medida F_1 geral obtidos. Os resultados, exibidos na figura 3, mostram que um vocabulário de tamanho 5.000 e $\gamma = 10$ é o suficiente para obtermos um valor próximo a 90% de F_1 . Portanto, esta será a configuração utilizada no método proposto (H+JSD).



Palavras	γ 1	γ 10	γ 100
50	0,7935 \pm 0,016	0,8443 \pm 0,015	0,8247 \pm 0,012
500	0,8511 \pm 0,014	0,8827 \pm 0,012	0,8651 \pm 0,011
5.000	0,8672 \pm 0,013	0,8975 \pm 0,014	0,8838 \pm 0,014

Figura 3. F_1 para diferentes tamanhos de histograma e diferentes valores de γ .

4.2. Resultados

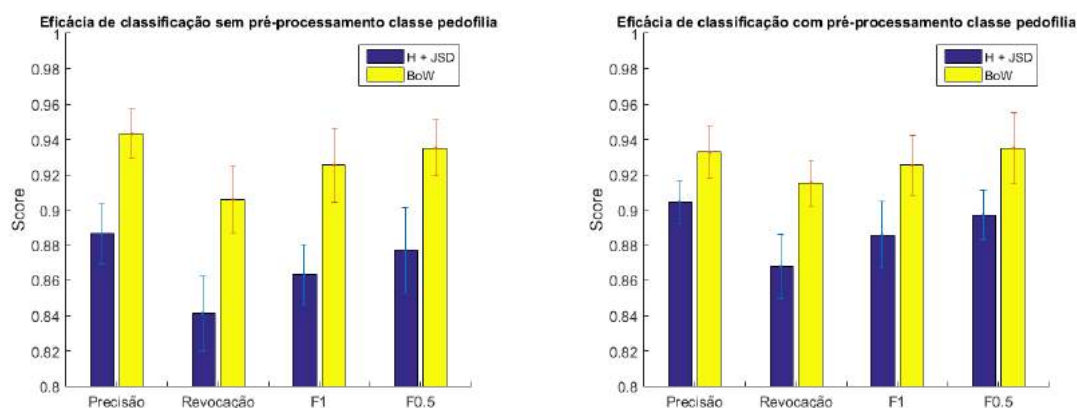
Esta seção apresenta uma avaliação quantitativa entre o H+JSD e o BoW, que inclui avaliações experimentais e analíticas (complexidade computacional). A análise de com-

plexidade e as medições de tempo de execuções são instrumentos complementares para demonstrar a maior eficiência do H+JSD em relação ao BoW.

4.2.1. Eficácia dos Métodos (Qualidade da Classificação)

As figuras 4(a) e 4(b) apresentam os resultados de F_1 da classificação, com e sem pré-processamento, enquanto as figuras 5(a) e 5(b) apresentam os resultados de $F_{0,5}$. Os resultados mostram o impacto positivo do pré-processamento para ambos os métodos.

A remoção de palavras funcionais melhora os resultados, pois evita que o classificador utilize palavras que não agregam significado às sentenças, ou que não possuem informação suficiente para distinguir o discurso das possíveis entidades presentes nas conversas. O método H+JSD mantém valores de F_1 e $F_{0,5}$ próximos a 90%, comparado a valores próximos a 94% para o BoW. Entretanto, ao observar as medidas de $F_{0,5}$ observamos que a diferença de desempenho entre o H+JSD e o BoW diminuem, isso ocorre porque a diferença de revocação é maior do que a de precisão.



Métricas	H+JSD	BoW
Precisão	0,884 ± 0,015	0,942 ± 0,014
Revocação	0,843 ± 0,023	0,905 ± 0,019
F_1	0,863 ± 0,017	0,925 ± 0,021
$F_{0.5}$	0,877 ± 0,024	0,937 ± 0,016

(a) Sem pré-processamento.

Métricas	H+JSD	BoW
Precisão	0,9018 ± 0,015	0,938 ± 0,015
Revocação	0,8721 ± 0,023	0,917 ± 0,012
F_1	0,886 ± 0,019	0,923 ± 0,017
$F_{0.5}$	0,897 ± 0,014	0,939 ± 0,020

(b) Com pré-processamento.

Figura 4. Comparação das métricas da classe pedofilia com e sem pré-processamento.

4.2.2. Eficiência Analítica dos Métodos (Análise de Complexidade)

O H+JSD possui uma eficiência (velocidade) muito maior que o BoW. Isto ocorre porque o vetor de características compacto do H+JSD resulta um custo computacional muito menor que o BoW. Na etapa de extração de características ambos os métodos possuem o mesmo grau de complexidade $O(pm)$, onde p é a quantidade de palavras (termos) e m é a quantidade de conversas. A complexidade da etapa de classificação é composta pelo

custo do treino e teste do modelo. O treino do SVM tem custo $O(kt^2)$ onde t é o tamanho da coleção de conversas de treino e k é a quantidade de características que representa cada instância, este custo é referente às operações de produto escalar que o classificador realiza para encontrar o hiperplano ótimo de separação das instâncias. O teste tem custo $O(kv)$ onde v é o tamanho da coleção de teste. Nesse aspecto, o H+JSD leva vantagem significativa em relação ao BoW, pois independente da quantidade de conversas consideradas no estudo, ou da quantidade de palavras únicas encontradas na coleção, o H+JSD utiliza apenas seis características, tornando o custo de classificação no treino igual a $O(t^2)$ e o de teste igual a $O(v)$, enquanto que para o BoW, apesar de fixarmos o tamanho do vetor de características em 5.000 palavras por motivos de eficiência, esta quantidade é, a princípio, igual ao tamanho do vocabulário.

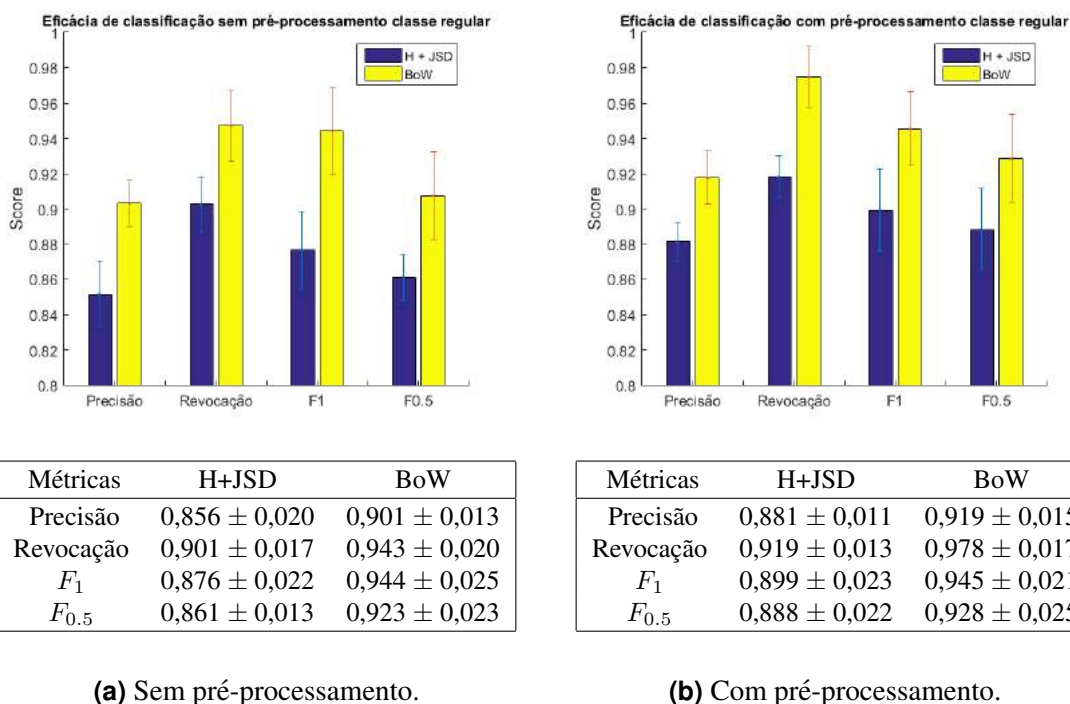
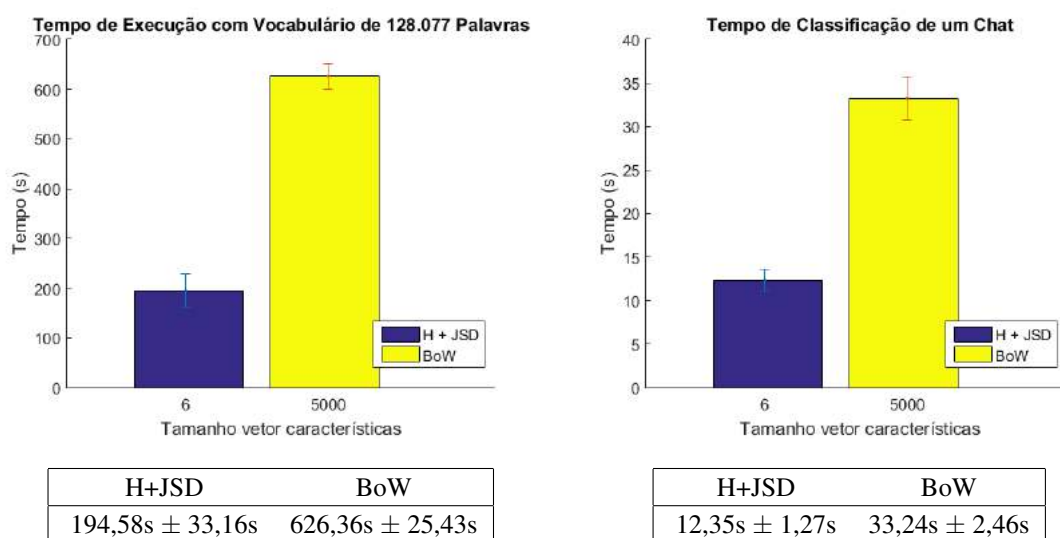


Figura 5. Comparação de métricas da classe regular com e sem pré-processamento.

4.2.3. Eficiência Medida dos Métodos (Tempo de Execução)

O custo computacional e o tempo de execução dos métodos são métricas fundamentais, principalmente considerando redes de mensagens instantâneas ponto-a-ponto baseadas em dispositivos móveis, tais como o Whatsapp. A figura 6(a) exibe tempo de execução total (128.077 conversas, ten-fold cross-validation), enquanto a figura 6(b) apresenta o tempo médio de classificação de uma conversa. O impacto do custo computacional reduzido do H+JSD, evidenciado na análise de complexidade apresentada, se traduz em um tempo menor de processamento. Em particular, para a tarefa de classificação, o tempo médio do H+JSD é 62, 85% menor que o BoW (12,35s contra 33,24s).

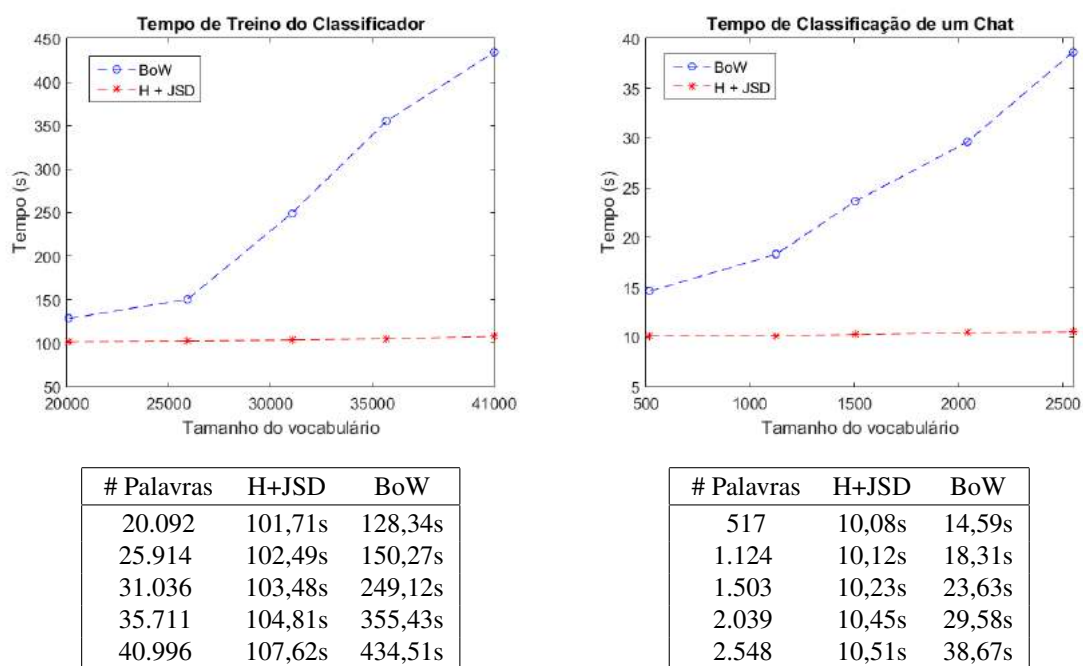
As figuras 7(a) e 7(b) apresentam o tempo de execução de ambos os métodos para



(a) Treino.

(b) Classificação de uma conversa.

Figura 6. Avaliação do tempo de treino e de classificação de uma conversa.



(a) Treino.

(b) Classificação de uma conversa.

Figura 7. Tempo de treino e de classificação de uma conversa pelo vocabulário.

o treino do modelo e para a classificação de uma conversa. Neste experimento, variamos o tamanho do vocabulário utilizado pelo BoW e nos histogramas de referência do H+JSD. Os resultados mostram que o método proposto H+JSD é muito mais escalável que o BoW. Para conversas com mais de 2.500 palavras o H+JSD chega a ser 72,8% mais rápido que o BoW (10,51s contra 38,67s) e, para conversas maiores, esta diferença será ainda maior.

5. Conclusão

Neste trabalho, apresentamos um método para identificação de conversas de pedofilia em redes sociais de mensagens instantâneas. O método proposto (H+JSD) alcança valores de F_1 e de $F_{0,5}$ próximos a 90%, comparados a 94% do estado-da-arte (BoW). Contudo, conforme demonstramos, o estado-da-arte não é escalável e seu custo computacional é proibitivo para dispositivos móveis. Em contraste, a solução proposta é escalável, com um custo computacional reduzido comparado ao BoW. Esta escalabilidade é um requisito chave para implementação de filtros de pedofilia em aplicativos móveis como Whatsapp, pois as mensagens são armazenadas apenas localmente não sendo desejável (ou possível) que as conversas sejam processadas na nuvem sem a prévia autorização de todos os participantes da conversa.

Embora a solução proposta seja significativamente mais eficiente (até 72,8% mais rápida que o estado-da-arte) ainda há espaço para redução do custo computacional e aumento da eficácia (qualidade da classificação). Como trabalhos futuros, estamos avaliando outras métricas de dissimilaridade comumente usadas em Teoria da Informação, Recuperação de Informação e Análise de Dados, tais como as distâncias de Hellinger, Jaccard, Cosseno e Bray-Curtis.

A. Apêndice: Conceitos Fundamentais

A título de suporte, a seguir são apresentadas as definições de alguns conceitos comuns aos trabalhos relacionados e que são utilizados neste artigo. Mais detalhes sobre estes conceitos são fornecidos por Manning et al. [2008].

A.1. Características Usadas por Bag of Words

Definição 1 (Frequência de termo (TF)) *O TF contabiliza a frequência de ocorrência de um dado termo (palavra ou conjunto de palavras) em um conjunto de documentos. Intuitivamente, esta frequência é proporcional a importância do termo para o universo de discurso. O valor de TF de um termo t em um documento d é dado por*

$$tf_{t,d} = \text{número de vezes que } t \text{ ocorre em } d. \quad (4)$$

Definição 2 (Frequência invertida de documento (IDF)) *O IDF estima a raridade de um termo em uma coleção de documentos, de forma que se um dado termo ocorre em todos os documentos, seu IDF é zero. O valor de IDF de um termo t , sobre o corpus C , é dado por*

$$idf_{t,C} = \log \frac{|C|}{|\{d \in C : t \in d\}|}, \quad (5)$$

onde $|C|$ é o tamanho do corpus C e $|\{d \in C : t \in d\}|$ é o número de documentos de C em que t aparece.

Definição 3 (Frequência de termo-frequência invertida de documento (TF-IDF)) *O TF-IDF é dado por*

$$tf-idf_{t,d,C} = tf_{t,d} \cdot idf_{t,C}. \quad (6)$$

A.2. Métricas de Avaliação de Classificadores

Neste artigo usamos a medida F_β para avaliar os métodos, em particular considerando os valores $\beta = 0,5$ e $\beta = 1$.

Definição 4 (Medida F_β) A medida F_β , para $\beta \geq 0$ é dada por

$$F_\beta = (1 + \beta^2) \frac{\text{Precisão} \cdot \text{Revocação}}{\beta^2 \cdot \text{Precisão} + \text{Revocação}}, \quad (7)$$

onde Precisão e Revocação são dados por

$$\text{Precisão} = \frac{VP}{VP + FP}, \quad \text{Revocação} = \frac{VP}{VP + FN},$$

e VP são os verdadeiros positivos, FP são os falsos positivos e FN são os falsos negativos para a classe avaliada.

Referências

- Bogdanova, D., Rosso, P., e Solorio, T. (2012). On the impact of sentiment and emotion based features in detecting online sexual predators. In *In Proceedings of the 3rd Workshop in Computational Approaches to Subjectivity and Sentiment Analysis*, pages 110–118, Jeju, Korea. Association for Computational Linguistics.
- Cheong, Y., Jensen, A. K., Gudnadottir, E. R., Bae, B., e Togelius, J. (2015). Detecting predatory behavior in game chats. *Transactions on Computational Intelligence and AI in Games*, 7(3):220–232.
- Kontostathis, A., Edwards, L., e Leatherman, A. (2010). *Text Mining and Cybercrime*, pages 149–164. John Wiley & Sons, Ltd, West Sussex, United Kingdom.
- Lanning, K. V., for Missing & Exploited Children, N. C., et al. (2010). *Child molesters: A behavioral analysis for professionals investigating the sexual exploitation of children*. National Center for Missing & Exploited Children with Office of Juvenile Justice and Delinquency Prevention, Virginia, USA.
- Lin, J. (1991). Divergence measures based on the shannon entropy. *IEEE Transactions on Information theory*, 37(1):145–151.
- Liu, W. e Chawla, S. (2011). *Class Confidence Weighted kNN Algorithms for Imbalanced Data Sets*, pages 345–356. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.
- Livingstone, S., Haddon, L., Görzig, A., e Ólafsson, K. (2010). *Risks and safety on the Internet: the perspective of European children*. LSE: EU Kids Online, London, United Kingdom.
- MacKay, D. J. C. (2003). *Information Theory, Inference and Learning Algorithms*. Cambridge University Press.
- Manning, C. D., Raghavan, P., e Schütze, H. (2008). *Introduction to Information Retrieval*. Cambridge University Press.
- Manning, C. D., Surdeanu, M., Bauer, J., Finkel, J., Bethard, S. J., e McClosky, D. (2014). The Stanford CoreNLP natural language processing toolkit. In *Association for Computational Linguistics (ACL) System Demonstrations*, pages 55–60.
- Morris, C. e Hirst, G. (2012). Identifying sexual predators by svm classification with lexical and behavioral features. In *Working notes of the 3rd Conference and Labs of the Evaluation Forum, Evaluation Labs and Workshop*, volume 12, pages 1–29, Rome, Italy. The CLEF Initiative.

- Parapar, J., Losada, D., e Barreiro, A. (2012). A learning-based approach for the identification of sexual predators in chat logs. In *Working notes of the 3rd Conference and Labs of the Evaluation Forum, Evaluation Labs and Workshop*, volume 12, pages 1 – 12, Rome, Italy. The CLEF Initiative.
- Peersman, C., Vaassen, F., Van Asch, V., e Daelemans, W. (2012). Conversation level constraints on pedophile detection in chat rooms. In *Working notes of the 3rd Conference and Labs of the Evaluation Forum, Evaluation Labs and Workshop*, volume 12, pages 1 – 13, Rome, Italy. The CLEF Initiative.
- Pendar, N. (2007). Toward spotting the pedophile telling victim from predator in text chats. In *In Proceedings of the International Conference on Semantic Computing (ICSC)*, volume 1, pages 235 – 241, California, USA. IEEE.
- Reis, J., Miranda, M., Bastos, L., Prates, R., e Benevenuto, F. (2016). Uma análise do impacto do anonimato em comentários de notícias online. In *Anais do 13o. Simpósio Brasileiro de Sistemas Colaborativos (SBSC)*, pages 1290–1304. SBC.
- Rosso, O. A., Craig, H., e Moscato, P. (2009). Shakespeare and other english renaissance authors as characterized by information theory complexity quantifiers. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 388(6):916 – 926.
- Silva, C., Barbosa, G., Silva, I., Silva, T., e Mourão, F. (2016). Privacidade para crianças e adolescentes em redes sociais online sob a lente da usabilidade: Um estudo de caso no facebook. In *Anais do 13o. Simpósio Brasileiro de Sistemas Colaborativos (SBSC)*, pages 1245–1259. SBC.
- Villatoro-Tello, E., Juárez-González, A., Escalante, H. J., Montes-y Gómez, M., e Pineda, L. V. (2012). Two-step approach for effective detection of misbehaving users in chats. In *Working notes of the 3rd Conference and Labs of the Evaluation Forum, Evaluation Labs and Workshop*, volume 12, pages 1 – 12, Rome, Italy. The CLEF Initiative.

Análise da Popularidade, Visibilidade e Atividade de Diferentes Tipos de Robôs na Rede Social Twitter

Andreza Valgas, Felipe Carmo, Lesandro Ponciano, Luís Góes

¹Departamento de Engenharia de Software e Sistemas de Informação
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Av. Dom José Gaspar, 500 Coração Eucarístico
CEP: 30.535-901, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil

andrezavalgas@hotmail.com, felipe.carmo92@gmail.com,

lesandrop@pucminas.br, lfwgoes@pucminas.br

Abstract. *Twitter is one of the largest social networks currently active. It is used by millions of people. In addition to people, Twitter is also populated by social bots, which are computer programs that act on the social network performing the same actions that humans perform. In this work, we analyze 27 bots on Twitter with the objective of investigating factors of the contents published by them, their actions and received attention. The analysis focuses on visibility, activity and popularity metrics. Bots were analyzed individually and by types, which are: informative, interactive intelligent, and non-interactive intelligent. The results show that bots differ greatly in terms of activity level and also exhibit different levels of visibility and popularity. Correlation analysis show that popularity and visibility are strongly correlated characteristics. Intelligent interactive bots are the ones that exhibit the highest level of activity. Higher visibility and popularity are obtained by informative bots. Implications of these results are presented and discussed.*

Resumo. *O Twitter é uma das maiores redes sociais da atualidade. Ela é utilizada por milhões de pessoas. Além de pessoas, esta rede social também é populada por robôs, que são programas de computador que agem na rede social realizando as mesmas ações que seres humanos realizam. Neste trabalho apresenta-se uma análise de 27 robôs no Twitter com o objetivo de investigar características dos conteúdos publicados, atuação e atenção recebida por eles. Três métricas são consideradas: visibilidade, atividade e popularidade. Os robôs são analisados de forma individual e por tipo de robô, que são: informativos, inteligentes interativos e inteligentes não-interativos. Os resultados mostram que os robôs diferem muito entre eles em termos do nível de atividade. Eles também têm visibilidade e popularidade diferentes. Análises de correlação revelam que popularidade e visibilidade são características que estão fortemente correlacionadas. Robôs inteligentes interativos exibem maior nível atividade. Maior visibilidade e popularidade são obtidas por robôs informativos. Diversas implicações desses resultados são apresentadas e discutidas.*

1. Introdução

Nos dias atuais, redes sociais online são um importante meio de entretenimento, interação e comunicação entre pessoas em todo o mundo. A atuação das pessoas nessas redes

tem sido objeto de estudo em diversas perspectivas [Ellison et al. 2007, Alves et al. 2012, Figueiredo et al. 2014]. Entre as principais redes sociais atualmente estão o Facebook, Instagram, Flickr e o Twitter. O Twitter é uma rede social onde usuários podem publicar fotos, vídeos e/ou mensagens curtas de no máximo 140 caracteres. Essa rede conta com mais de 313 milhões de usuários ativos diariamente [Twitter 2017a]. Eles utilizam a rede para compartilhar conteúdos sobre seus interesses e assuntos diversos. Devido à grande quantidade de usuários e de conteúdos produzidos por eles, o Twitter vem sendo objeto de diversos tipos de estudos [Cha et al. 2010, Wald et al. 2013, Bruns and Stieglitz 2013, Araújo et al. 2013, Chae 2015].

Usuários geralmente utilizam o Twitter por meio de sua página Web (www.twitter.com) ou por meio de aplicativos para dispositivos móveis. Entretanto, outra forma de utilização do Twitter é por meio de sua interface de programação de aplicação (API, do inglês *Application Programming Interface*), acessível por meio de Streaming, REST e Firehose [Twitter 2017b]. A API possibilita que programadores de computadores construam programas que realizem todo tipo de função que um usuário comum pode realizar na rede social, como seguir outros usuários e compartilhar conteúdos. Dessa forma, tratam-se de programas de computador que, a partir da API, agem na rede social realizando as mesmas ações que os usuários que são seres humanos realizam. Estes *usuários automatizados são chamados de robôs* [Ferrara et al. 2016]. Um estudo recente estima que entre 9% e 15% dos usuários ativos no Twitter são robôs [Varol et al. 2017].

Os robôs geralmente são programados para tratar de conteúdos específicos e atrair a atenção de determinado segmento de usuários da rede social. Muitos usuários seguem e até mesmo interagem com os robôs através de conversas e/ou compartilhando os conteúdos que eles publicam. Em alguns contextos, os usuários consideram os robôs dignos de confiança, atraentes e competentes em suas comunicações [Edwards et al. 2014]. Diversos estudos têm se dedicado à identificação e análise de robôs no Twitter [Wald et al. 2013, Edwards et al. 2014, Ferrara et al. 2016]. Apesar desse esforço, os motivos pelos quais os robôs acabam por serem seguidos e gerarem interesse em uma quantidade de usuários do Twitter ainda não estão bem definidos.

O objetivo principal deste trabalho é investigar características dos conteúdos publicados pelos robôs e dados quantitativos de atenção e atuação dos robôs na rede social Twitter. Considerando propostas de artigos anteriores, são utilizadas três métricas para analisar os robôs: visibilidade, atividade e popularidade [Bruns and Stieglitz 2013, Cha et al. 2010]. Por meio dessas métricas é possível identificar, respectivamente, o quanto que o conteúdo postado por determinado robô é distribuído e visto pelos usuários da rede social, a frequência com que o robô publica conteúdos e a quantidade de outros usuários que gostariam de serem notificados sobre as publicações do robô. Essas métricas já foram utilizadas para analisar o comportamento de usuários do Twitter que são seres humanos, mas ainda não foram empregadas para analisar o comportamento de robôs.

Estudos sobre robôs no Twitter têm focado principalmente em detectar automaticamente se um usuário é um robô ou em analisar sua influência [Edwards et al. 2014, Varol et al. 2017]. Neste estudo adota-se uma abordagem diferente. Analisa-se um conjunto de usuários que estão claramente identificados como robôs. O foco do estudo está em investigar a atividade, popularidade dos robôs na rede social associado à análise do

tipo de conteúdo publicado por eles. Por exemplo, alguns robôs publicam conteúdos de interesse público, como alertas de terremotos. Outros robôs, entretanto, focam na publicação de conteúdos de entretenimento, como piadas e fatos curiosos. O propósito desta análise por tipo é identificar se algum comportamento e/ou conteúdo faz um robô preferido entre os usuários do Twitter.

O estudo conduzido utiliza uma base de dados com informações sobre 27 robôs. Considerando as características de conteúdo publicado pelos robôs e a interação com os usuários da rede social, os robôs são classificados em 3 diferentes tipos, são eles: informativos, inteligentes interativos e inteligentes não-interativos. Os robôs são analisados considerando as métricas visibilidade, atividade e popularidade isoladamente e as relações entre elas. Os resultados mostram que os robôs diferem muito entre eles em termos do nível de atividade na rede social. Há um pequeno subconjunto de robôs altamente ativos e uma maior quantidade de robôs com pouca atividade. Os robôs também têm visibilidade e popularidade bem diferentes. Análises de correlação entre as métricas revelam que popularidade e visibilidade são características que estão fortemente correlacionadas entre si. Robôs inteligentes e que interagem com os usuários da rede social são os que exibem maior nível de atividade. Maior visibilidade e popularidade são obtidas por robôs que publicam conteúdo de cunho informativo.

O restante do artigo está estruturado da seguinte maneira. A discussão terminológica e dos trabalhos relacionados é apresentada na Seção 2. Em seguida, a Seção 3 apresenta detalhes da metodologia utilizada. Os resultados do trabalho são apresentados na Seção 4. Uma discussão das implicações e limitações dos resultados é apresentada na Seção 5. Por fim, na Seção 6 são apresentadas as conclusões e os trabalhos futuros.

2. Trabalhos Relacionados

Esta seção apresenta os trabalhos relacionados assim como os conceitos propostos e definidos por eles. Primeiro, discute-se as variáveis relevantes para análise de usuários do Twitter. Após isso, são apresentados e analisados trabalhos que tratam de robôs no Twitter.

2.1. Atividade, Visibilidade e Popularidade de Usuários no Twitter

Diversos estudos têm sido dedicados à análise de como os usuários do Twitter se comportam. Entretanto, nem sempre há consistência entre os trabalhos de modo a realizar comparações e adicionar conhecimento. Por exemplo, Bruns e Stieglitz (2013) argumentam que técnicas de análise utilizadas para estudar e realizar comparações no Twitter até então ainda pecavam em não serem padronizadas e largamente reconhecidas pela comunidade científica [Bruns and Stieglitz 2013]. Elas eram constantemente recriadas por cada autor em seus respectivos trabalhos, tornando difícil a comparação e complemento de resultados.

Diante disso, Bruns e Stieglitz (2013) propuseram um grupo de padrões a ser utilizado em estudos sobre comportamentos no Twitter. Trata-se de um modelo de avaliação que trabalha com dois atributos importantes nas interações no Twitter, a *atividade* e a *visibilidade* de cada usuário. A atividade do usuário é definida como a contabilização da quantidade de conteúdos publicados pelo mesmo. A visibilidade de um usuário, por sua vez, é a contagem de menções a ele no Twitter. As menções são referências ao usuário em

questão. Elas podem ser diretas ou indiretas. Por exemplo, se *Big_ben_clock* é um usuário da rede social e alguma mensagem possuir em seu conteúdo o termo *@Big_ben_clock*, trata-se de uma menção direta ao usuário correspondente. De outra forma, quando um usuário faz uso do recurso de republicação (*retweet*), disponível no Twitter, para publicar um conteúdo previamente publicado por outro usuário, ele está fazendo uma menção indireta ao usuário que postou o conteúdo primeiro.

Cha et al. adicionam mais uma variável a ser analisada quando o objetivo é mensurar a influência de um usuário no Twitter, trata-se da variável *popularedade* [Cha et al. 2010]. Esta variável é calculada através do número de usuários que seguem um determinado usuário que está sendo analisado. No Twitter, seguir um usuário é uma maneira de se manter informado sobre os conteúdos publicados pelo usuário. Usuários com alta popularidade no Twitter costumam receber mais atenção da sua audiência (seguidores), mas a popularidade sem outras variáveis de medição revela pouco do poder de influência do usuário [Cha et al. 2010].

2.2. Robôs na Rede Social Twitter

Robôs são cada vez mais comuns em redes sociais. Neste contexto, um robô pode ser definido como “um algoritmo de computador que produz automaticamente conteúdo e interage com os seres humanos em mídias sociais, tentando imitar e, possivelmente, alterar o comportamento deles” [Ferrara et al. 2016]. Robôs podem apresentar funções úteis, como agregar conteúdos informativos, fazer a automação de respostas, gerar conteúdo de entretenimento entre outras diversas funcionalidades possíveis. Entretanto, eles também podem causar males às redes nas quais estão implementados, podendo enganar, explorar e manipular discussões, com rumores, *spam*, disseminar *malware*, desinformação, calúnia, e ruídos [Ferrara et al. 2016]. No meio político, robôs podem ser utilizados para influenciar os assuntos do momento em campanhas eleitorais [Orcutt 2012, Ferrara 2016].

Enquanto muitos estudos têm focado em detectar automaticamente usuários que são robôs [Wald et al. 2013, Edwards et al. 2014, Ferrara et al. 2016], neste estudo adota-se uma abordagem diferente. Analisa-se um conjunto de robôs conhecidos na rede social. O propósito é investigar características de construção (como interação e criatividade) e investigar as diferentes formas de atuação e atenção recebida na rede social (atividade, popularidade e visibilidade). Dessa forma, busca-se gerar conhecimento sobre as características e comportamentos de robôs em termos da participação deles na rede social.

Estudos têm mostrado que usuários seguem e até mesmo interagem com os robôs por meio de conversas e/ou compartilhando os conteúdos que eles publicam [Edwards et al. 2014, Boshmaf et al. 2011, Haustein et al. 2016]. Em alguns contextos, os usuários consideram os robôs dignos de confiança, atraentes e competentes em suas comunicações [Edwards et al. 2014]. Muitos robôs acabam sendo considerados pessoas reais pelos usuários da rede social. A motivação para se criar um robô e o impacto que os robôs têm na rede social também têm sido objeto de estudo. Robôs podem ser criados com diversos propósitos, como gerar fama ao criador, dinheiro ou oportunidade de socialização [Boshmaf et al. 2011]. A atuação dos robôs pode gerar diversos impactos. Por exemplo, robôs que comentam sobre publicações científicas podem gerar um impacto artificial sobre indicadores de atenção recebidas por tais publicações [Haustein et al. 2016].

Muita da atenção recebida por robôs no Twitter tem sido possível devido ao em-

prego de técnicas de processamento de linguagem natural e criatividade computacional no desenvolvimento dos robôs. Robôs criativos são aqueles capazes de produzir conteúdo criativo. Neste contexto, o conceito de criatividade está associado aos conteúdos que possuem as propriedades de novidade e valor [Colton 2008], como poesias, pinturas, músicas, metáforas, formulações inesperadas. A criatividade é geralmente tratada como psicológica e a histórica [Boden 2009]. A criatividade psicológica gera conteúdos que são novos somente para o indivíduo que os criaram, mas que já podem ter sido criados em outro momento da história. A criatividade histórica permite gerar conteúdos inéditos, nunca antes criados. Neste estudo, alguns dos robôs analisados tentam produzir conteúdos criativos empregando algoritmos de criatividade computacional.

3. Metodologia

Esta seção apresenta a metodologia empregada neste trabalho. Ela é iniciada com a análise dos robôs e dos tipos de robôs considerados no estudo. Após isso, detalha-se como os dados foram coletados do Twitter e como as métricas (atividade, visibilidade e popularidade) foram calculadas.

3.1. Robôs e Tipos de Robôs

Os robôs analisados neste trabalho foram encontrados em conteúdos sobre Criatividade Computacional [Veale 2015] e em buscas em *blogs* e páginas que apontavam para robôs presentes nas mídias sociais. Ao todo foram selecionados 27 robôs que são descritos resumidamente na Tabela 1.

Os robôs são categorizados considerando o tipo de conteúdo produzido por eles e a forma como eles agem na rede social. A definição dos tipos foi realizada através da identificação das características mais presentes na proposta de cada robô. Além disso, analisou-se o perfil público do robô na rede social e amostras de conteúdos publicados por eles. A partir desta análise, a seguinte classificação foi gerada:

- **Robôs informativos.** Robôs do tipo informativo publicam informações que são de interesse de seus seguidores. O tipo de informação varia muito dependendo da proposta de cada robô. Por exemplo, alguns robôs publicam informações sobre fenômenos naturais (como terremotos), outros publicam informações sobre questões de cunho político (como edições na Wikipédia realizadas a partir da rede interna do congresso americano). Dos 27 robôs estudados, 9 são do tipo informativos, são eles: *dscovr_epic*, *CongressEdits*, *EarthquakeBot*, *EarthquakesLA*, *EarthquakesSF*, *MuseumBot*, *Big_ben_clock*, *EveryColorBot* e *TwoHeadlines*.
- **Robôs inteligentes interativos.** Robôs inteligentes interativos são aqueles que interagem com outros usuários na rede social ao publicarem conteúdos que possuem algum tipo de sofisticação, geralmente empregando conceitos como processamento de linguagem natural ou criatividade computacional. O tipo de conteúdo varia com a proposta de cada robô. Por exemplo, robôs inteligentes e interativos podem utilizar normas gramaticais de um idioma para advertir usuários de que os conteúdos postados por eles não estão aderentes à norma gramatical do idioma. Outro caso, é quando o robô tenta identificar poesias nos conteúdos postados por outros usuários. O comportamento natural desses robôs é interagirem com outros usuários na rede social ao publicarem seus conteúdos. Dos 27 robôs estudados,

Tabela 1. Robôs Analisados

Nome do Robô	Conteúdo Postado	Início da Atividade
grammar	Alerta os usuários sobre o uso impróprio de gramática em suas publicações na rede social.	junho de 2012
a_quilt_bot	Dada uma imagem recebida de um usuário, tenta reproduzi-la com a aparência de um tecido.	setembro de 2014
accidental575	Encontra e publica <i>haiku</i> (poesia japonesa) postadas por usuários no Twitter.	abril de 2014
AutoCharts	Publica fluxogramas absurdos e diagramas de Venn (teoria de conjuntos) duas vezes ao dia.	março de 2014
autocompletejok	Publica piadas utilizando a ferramenta de autocompletar do Google.	julho de 2015
Big_ben_clock	Badaladas em sincronia com famoso relógio Big Ben de Londres.	outubro de 2009
censusAmericans	Publica pequenas biografias de americanos baseado no Censo entre 2009 e 2013.	junho de 2015
CongressEdits	Mudanças feitas no Wikipédia por endereços IP do congresso americano.	julho de 2014
dscovr_epic	Publica imagens em tempo real da Terra tiradas pela câmera EPIC no satélite DSCOVR.	outubro de 2015
EarthquakeBot	Informa cada terremoto que acontece no mundo que seja maior que 5,0.	março de 2010
EarthquakesLA	Relata os terremotos ocorridos na cidade de Los Angeles assim que estes ocorrem.	maio de 2009
EarthquakesSF	Relata os terremotos ocorridos na cidade de São Francisco assim que estes ocorrem.	maio de 2009
EveryColorBot	Informa cores em RGB no formato hexadecimal acompanhado de uma imagem delas.	setembro de 2013
FactBot1	A cada 4 horas, publica um “fato interessante” associado a conhecimentos gerais.	março de 2014
fuckeveryword	Publica um “fuck” para cada palavra na língua inglesa.	maio de 2014
JstBelowTweetz	Publica mensagens fazendo referência à pessoa que interagiu com ele.	abril de 2014
JustToSayBot	Publica poemas baseados no famoso poema “ <i>This Is Just To Say</i> ” de William Carlos Williams.	julho de 2013
MetaphorMagnet	A cada duas horas publica uma metáfora criativa.	abril de 2014
Metaphorminute	A cada dois minutos publica uma metáfora criativa.	maio de 2012
mothgenerator	Cria traças/borboletas combinando segmentos selecionados aleatoriamente e cores de corpos de inseto.	maio de 2012
MuseumBot	Publica imagens aleatórias com artes do “Metropolitan Museum of Art”.	maio de 2014
OliviaTaters	Publica e referencia frases formadas a partir do estudo de conteúdos postados por adolescentes.	novembro de 2013
Pentametrón	Publica e referência conteúdos que seguem o pentâmetro iâmbico da poesia.	março de 2012
pixelsorter	Dada uma imagem recebida de um usuário, separa suas linhas e colunas de pixels seguindo regras pré-determinadas.	setembro de 2014
reverseocr	Trata-se de um reconhecimento óptico de caracteres (OCR) ao inverso; ele pega uma palavra e a desenha aleatoriamente até que um algoritmo de OCR a reconheça corretamente.	agosto de 2014
thinkpiecebot	Publica peças/pedaços de pensamento, que são textos criativos.	agosto de 2015
TwoHeadlines	Publica uma frase gerada com a mistura de dois títulos de notícias tiradas do jornal “Washington Post”.	agosto de 2013

9 são do tipo inteligentes interativos, são eles: `_grammar_`, `JstBelowTweetz`, `Oli-viaTaters`, `pixelsorter`, `a_quilt_bot`, `accidental575`, `Pentametrone`, `mothgenerator` e `fuckeveryword`.

- **Robôs do tipo inteligentes não-interativos.** Robôs deste tipo publicam conteúdos que possuem algum tipo de sofisticação, geralmente empregando conceitos como processamento de linguagem natural ou criatividade computacional. Diferentemente dos robôs inteligentes interativos, robôs deste tipo são não-interativos. Dos 27 robôs estudados, 9 são do tipo inteligentes não-interativos, são eles: `JustToSayBot`, `thinkpiecebot`, `autocompletejok`, `AutoCharts`, `MetaphorMagnet`, `Metaphorminute`, `FactBot1`, `censusAmericans` e `reverseocr`.

Quando se analisa o conjunto de robôs de um dado tipo, seus valores de atividade, popularidade e atividades são agregados pela mediana. Assim, por exemplo, a atividade dos robôs do tipo inteligentes não-interativos é medida pela mediana dos valores de atividade dos robôs categorizados como sendo deste tipo. O mesmo se aplica para as métricas visibilidade e para popularidade. O uso da mediana visa evitar excessiva influência de valores extremos em métricas cujos valores seguem distribuições enviesadas.

3.2. Coleta de dados de Atividade, Visibilidade e Popularidade

Os dados utilizados neste estudo foram coletados por meio da Search API provida pelo Twitter. Para obter as mesmas métricas atividade e visibilidade que foram apontadas por trabalhos anteriores, foram coletados informações sobre os favoritos, menções (diretas e indiretas) e a quantidade de publicações (ou *tweets*, no jargão do Twitter) que cada robô fez. A coleta dos dados da rede social e o cálculo das métricas se deu através de um programa escrito na linguagem de programação Java. O programa faz o uso da biblioteca `Twitter4j`, que facilita o acesso a API do Twitter. Os dados foram coletados entre os dias 14 de março e dia 25 de março de 2017. Ao todo foram coletados dados de 16.931 mensagens, envolvendo publicações e republicações.

O processamento realizado sobre os dados coletados consistiu basicamente na contagem da frequência de alguns eventos relevantes para medir atividade, popularidade e visibilidade. Para cada robô, contou-se a quantidade de postagens realizadas, o número de vezes que as postagens foram marcadas como favorita pelos usuários da rede social, o número de vezes em que elas foram republicadas (ou *retweets*, no jargão do Twitter) ou que o robô foi mencionado diretamente por outros usuários da rede social. A partir desses dados, as métricas foram definidas da seguinte forma: **atividade** é o número de postagens feitas pelo robô; **popularidade** é o número de seguidores do robô; e **visibilidade** é o número de menções (republicações dos conteúdos postados pelo robô e citações ao robô) feitas na rede social. A informação considerada pela métrica popularidade inclui o número de seguidores acumulados desde que o robô foi criado. As métricas visibilidade e atividade, por sua vez, referem-se às publicações e republicações observadas no período da coleta.

4. Resultados

Nesta seção são discutidos os resultados da visibilidade, atividade e popularidade dos robôs estudados. Primeiramente são analisados os resultados para cada robô individualmente. Após isso, faz-se a análise dos robôs categorizados em diferentes tipos de robôs.

4.1. Distribuições de Visibilidade, Atividade e Popularidade

Na análise de visibilidade (Figura 1), percebe-se valores discrepantes entre os robôs. A distribuição dos valores é nitidamente enviesada. Dois robôs possuem uma visibilidade muito maior que os outros, são eles EveryColorBot e Big_ben_clock. O valor de visibilidade do robô EveryColorBot é mais de 7 vezes o valor da mediana de visibilidade do conjunto de robôs estudados. Por outro lado, existem diversos robôs que exibem baixa visibilidade. O robô MetaphorMagnet é aquele que apresenta a menor visibilidade entre os robôs estudados. Ele é mencionado apenas 8 vezes por outros usuários durante o período da coleta.

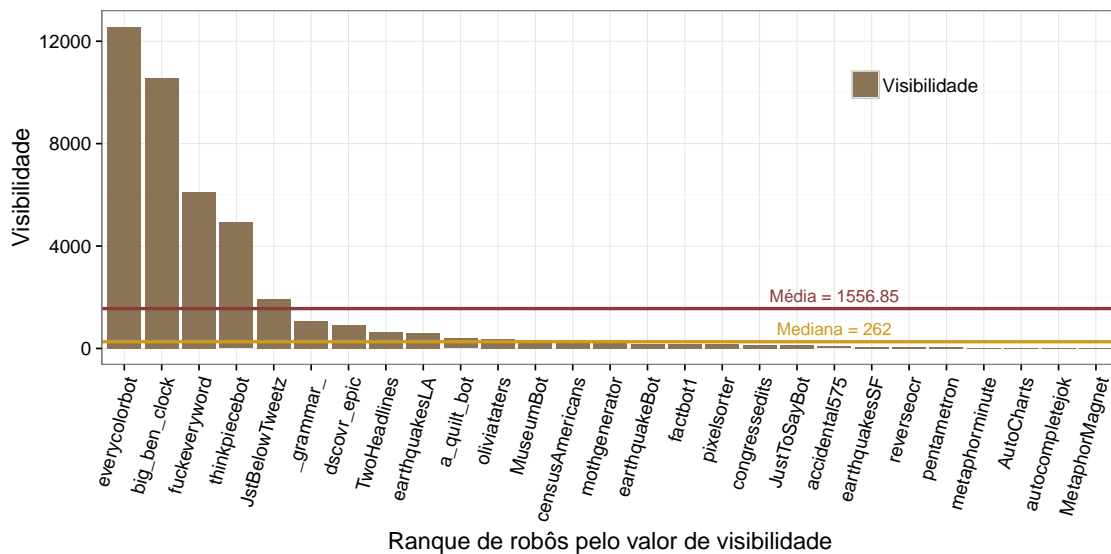


Figura 1. Valores da métrica visibilidade obtidos para cada um dos robôs analisados. As barras estão ordenadas do robô com maior visibilidade para o robô com menor visibilidade.

No que se refere à métrica atividade (Figura 2), três robôs se destacam por exibirem valores de atividade bastante superiores aos valores exibidos pelos demais, são eles: pixelsorter, _grammar_ e metaphorminute. Pela Figura 2, pode-se observar também um conjunto de robôs com valores de atividade próximos à média. Por fim, tem-se um conjunto de robôs com atividade bem inferior à mediana. De todos os robôs, o que apresenta menor valor de atividade é o robô earthquakesSF, foram 12 postagens durante o período da coleta. Esse é um resultado esperado dado que as postagens realizadas por esse robô estão vinculadas à ocorrência de terremotos, que é um fenômeno da natureza relativamente raro.

A Figura 3, por sua vez, mostra a popularidade dos robôs, que é medida pelo número de seguidores que cada robô possui. Neste figura, também se observa grande diferença entre os robôs. O robô Big_ben_clock é bem mais popular que os demais. Ele apresenta um valor de popularidade que é superior ao dobro da popularidade exibida pelo robô EarthquakesLA, que está em segundo lugar no ranque. O robô de menor popularidade é o MetaphorMagnet, exibindo apenas 674 seguidores no momento em que a coleta foi realizada.

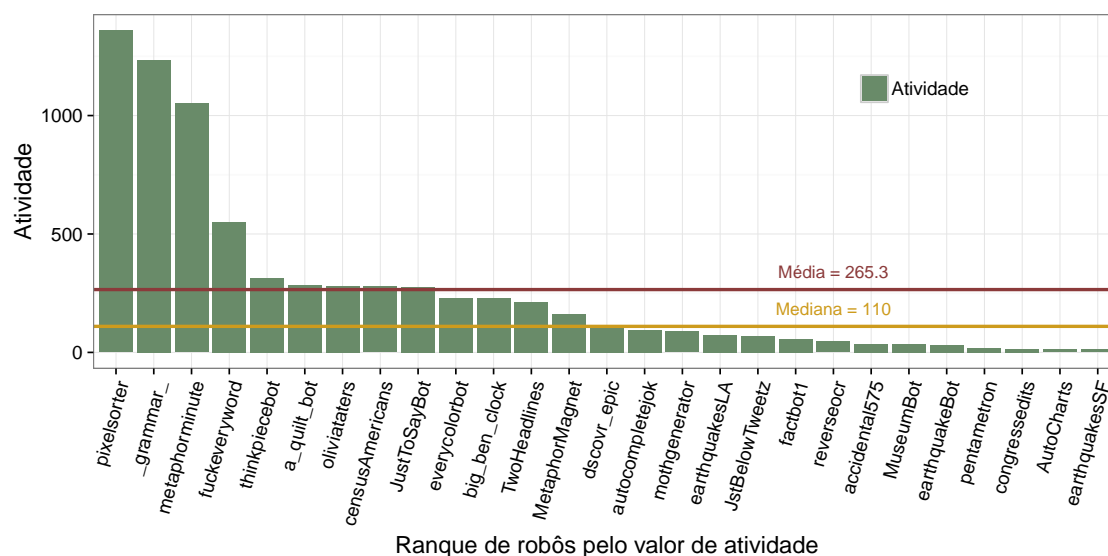


Figura 2. Valores da métrica atividade obtidos para cada um dos robôs analisados. As barras estão ordenadas do robô com maior atividade para o robô com menor atividade.

4.2. Relações entre Atividade, Visibilidade e Popularidade

Comparando-se as Figuras 1, 2 e 3, pode-se observar que ocorrem algumas mudanças no ranque de robôs quando muda-se a métrica considerada. Por exemplo, o robô que apresenta o maior valor de visibilidade não é o mesmo robô que apresenta o maior valor de atividade. Para investigar mais formalmente em que medida há relações entre as variáveis, conduziu-se um estudo de correlação usando o coeficiente de Spearman (r).

Analisou-se a correlação entre as três métricas atividade, visibilidade e popularidade. Nessa análise, obteve-se que: atividade e popularidade não estão correlacionadas ($r = -0,08$; $p\text{-valor} = 0,69$), as métricas atividade e visibilidade estão fracamente correlacionadas ($r = 0,42$; $p\text{-valor} = 0,03$), e as métricas visibilidade e popularidade estão fortemente correlacionadas ($r = 0,69$; $p\text{-valor} < 0,01$). A correlação entre visibilidade e popularidade indica que robôs com maior popularidade tendem a ser robôs com maior visibilidade.

A forte correlação entre visibilidade e popularidade pode ser vista graficamente na Figura 4. Essa figura mostra a tendência de que quanto maior a popularidade do robô, maior é a visibilidade de suas mensagens na rede social. Poucos robôs se distanciam dessa tendência, é o caso, por exemplo, do robô EarthquakesSF que apresenta alta popularidade, mas relativamente baixa visibilidade. Esse robô publica conteúdos sobre a ocorrência de terremotos e sua visibilidade tende a ser maior nos períodos em que terremotos ocorrem.

Por fim, buscou-se identificar conjuntos de robôs pelas suas características de popularidade e atividade (que são métricas que não apresentam correlação entre si). A análise consistiu em verificar se os robôs apresentavam valores de popularidade e atividade “altos” ou “baixos”. Considera-se a mediana dos valores para distinguir entre alto e baixo. Por exemplo, um robô tem alta popularidade se o valor da popularidade for superior à mediana de popularidade. Combinando as duas variáveis, obteve-se os seguintes conjuntos.

- **Alta atividade e Alta popularidade:** Os robôs que compõem esse conjunto são:

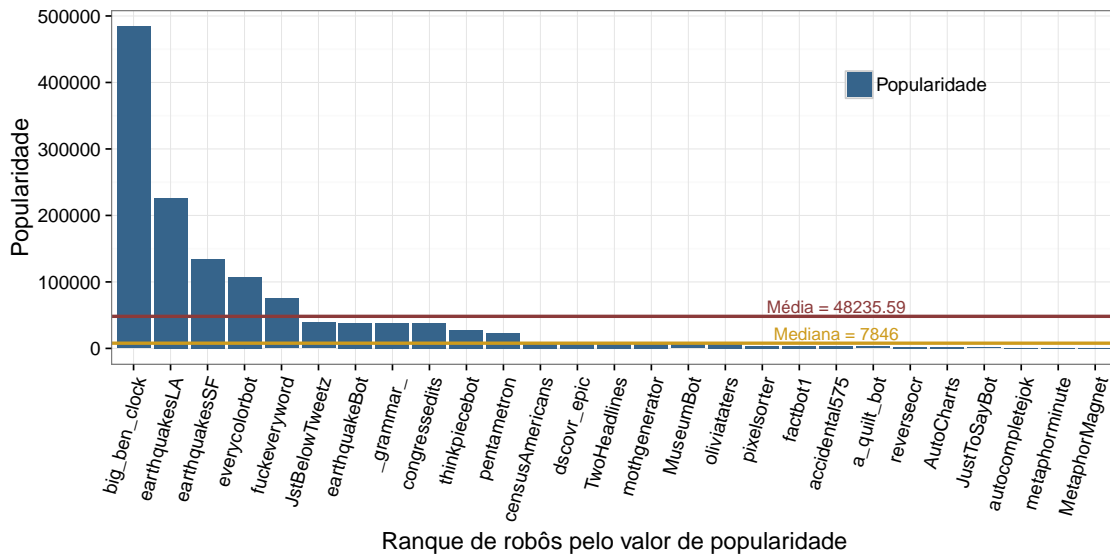


Figura 3. Valores da métrica popularidade obtidos para cada um dos robôs analisados. As barras estão ordenadas do robô com maior popularidade para o robô com menor popularidade.

grammar, big_ben_clock, censusAmericans, everycolorbot, fuckeveryword e thinkpiecebot. Todos esses robôs publicam conteúdo com bastante frequência, diversas vezes ao longo do dia.

- **Alta atividade e Baixa popularidade:** Os robôs que compõem esse conjunto são: a_quilt_bot, JustToSayBot, MetaphorMagnet, metaphorminute, oliviataters e pixelsorter. Todos esses robôs publicam conteúdos diversas vezes ao longo do dia e os conteúdos são criativos, não tendo cunho informativo.
- **Baixa atividade e Alta popularidade:** Os robôs que compõem esse conjunto são: congressedits, earthquakeBot, earthquakesLA, earthquakesSF, JstBelowTweetz e pentametrn. A maioria desses robôs publicam conteúdos com informações que dependem de algum evento que ocorre fora da rede social.
- **Baixa atividade e Baixa popularidade:** Os robôs que compõem esse conjunto são: accidental575, AutoCharts, autocompletejok, factbot1, mothgenerator, MuseumBot e reverseocr. A maioria desses robôs são criativos e publicam fatos sobre alguma entidade.

4.3. Visibilidade, Atividade e Popularidade dos Diferentes Tipos de Robôs

A Figura 5 mostra os resultados de visibilidade, atividade e popularidade por tipo de robô. Esses resultados mostram que robôs do tipo Informativo têm mais visibilidade e são mais populares. Por tratarem de informações de grande relevância, esses robôs atraem muitos seguidores na rede social e os conteúdos que eles publicam tendem a ser muito mencionados na rede social. Isso é o contrário do que ocorre com robôs do tipo Inteligente Não-interativo. Tais robôs não se valem do recurso de informações relevantes e nem da interatividade com seus usuários, fazendo com que eles atraiam poucos seguidores e que seus conteúdos tenham baixa visibilidade quando comparado com os demais robôs.

Como pode ser observado na Figura 5(b), os robôs que tentam ser inteligentes acabam por ter maior atividade. Isso significa que eles acabam postando bem mais con-

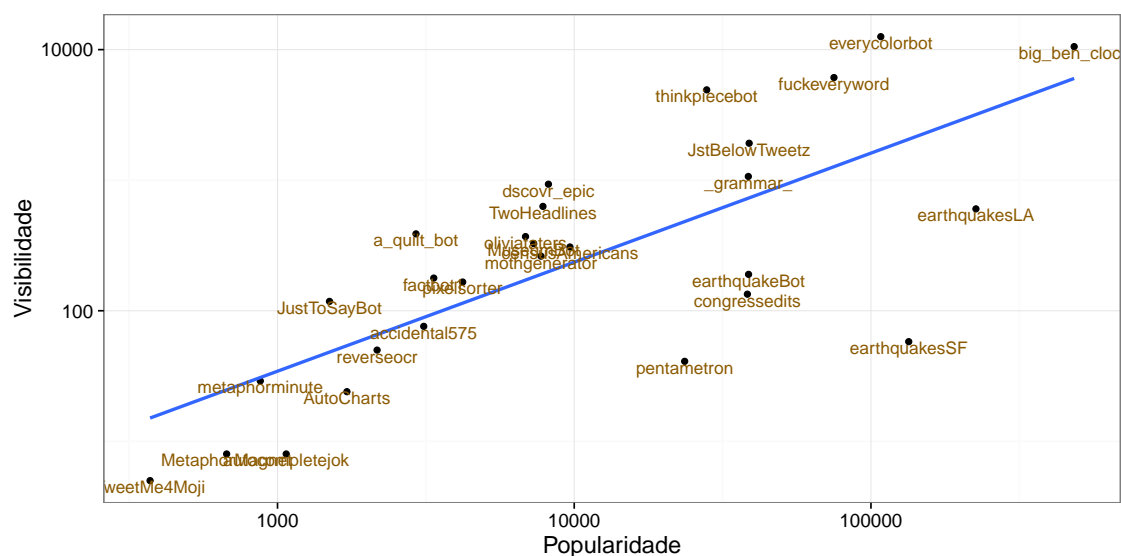


Figura 4. Relação entre Visibilidade e Popularidade dos robôs. A linha contínua representa uma regressão linear no conjunto de dados. Para facilitar a visualização, os eixos estão em escala logarítmica.

teúdo do que os robôs informativos. Essa tendência de publicar mais conteúdo é ainda maior quando se considera os robôs do tipo Inteligente Interativo. Esses robôs tentam interagir com os usuários e buscam fazer isso de forma inteligente – com a publicação de conteúdos criativos. Isso faz com a quantidade de conteúdos publicados por eles seja maior, quando maior for a interação com outros usuários.

5. Discussões, Implicações e Limitações

A pesquisa conduzida neste trabalho é exploratória sobre as características de popularidade, visibilidade e atividade de robôs no Twitter. Ela também é explicativa ao inter-relacionar essas características e ao relacioná-las com os diferentes tipos de robôs. Os resultados obtidos neste trabalho revelam diversas características sobre o comportamento de robôs em redes sociais, a atenção que eles recebem e a interação que estabelecem com outros usuários.

De forma geral, observa-se grande diferença entre os robôs. Uma pequena parcela deles concentra as maiores proporções de atividade, popularidade e visibilidade. Concentrações dessa natureza são observadas em diversos tipos de sistemas na internet [Hargittai and Walejko 2008, van Mierlo 2014, Ponciano et al. 2014]. Isso ocorre, em especial, em sistemas em que as atividades de publicação de conteúdo são realizadas fundamentalmente por seres humanos, não robôs. Esse é o caso, da atuação de pessoas em sites de perguntas e respostas [Furtado and Andrade 2011], da atenção recebidas por vídeos em sistemas de compartilhamento como YouTube [Figueiredo et al. 2014] e de participação voluntária na execução de tarefas baseadas em habilidades cognitivas [Ponciano and Brasileiro 2014]. O presente estudo mostra que tais tipos de concentração também ocorrem quando o usuário é um robô.

Existem ainda estudos que utilizam estas mesmas métricas para estudar o comportamento de usuários humanos. Cha et al. utilizam as métricas popularidade e visibi-

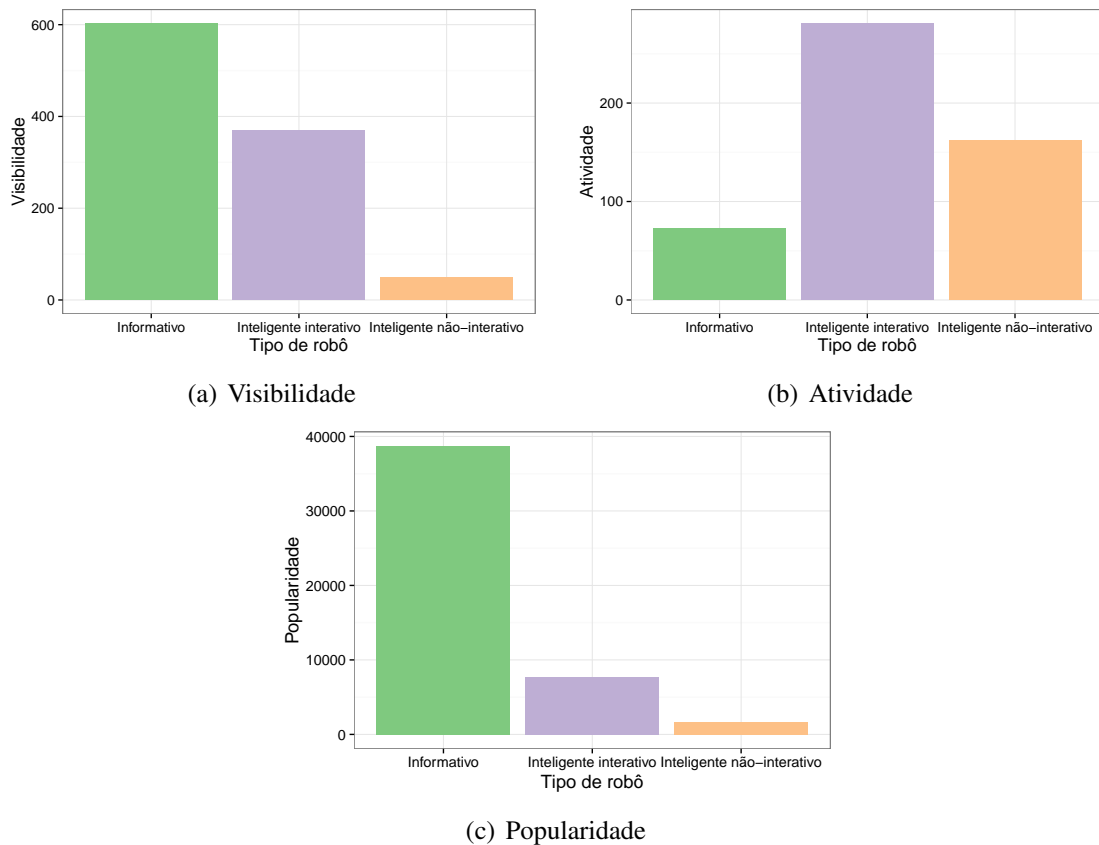


Figura 5. Análise de robôs Informativos, Inteligentes Interativos e Inteligentes Não-Interativos de acordo com as métricas (a) visibilidade, (b) atividade e (c) popularidade.

lidade para investigar a influência de um usuário sobre determinados tópicos e ao longo do tempo [Cha et al. 2010]. Segundo os autores, usuários mais populares não são necessariamente influentes em termos de republicações e menções, isto é, em termos de visibilidade. Eles ainda acrescentam que a medida de popularidade por si só revela pouco sobre a influência de um usuário. Em contrapartida, neste trabalho, verificou-se que, no que diz respeito a robôs, as métricas visibilidade e popularidade estão fortemente correlacionadas, indicando que robôs com maior popularidade tendem a ter maior visibilidade também.

Outro aspecto importante a ser discutido é o projeto de robôs para interação com seres humanos empregando conceitos de criatividade computacional. Em criatividade computacional os conteúdos geralmente são avaliados em termos de *novidade* e *valor* [Colton 2008]. Naturalmente, os robôs do tipo informativos publicam conteúdos de grande valor para os usuários, embora eles não empreguem algoritmos de criatividade para gerar tais conteúdos. Aparentemente, os robôs que empregam algoritmos de criatividade (os dos tipos Inteligente Interativo e Inteligente Não-interativo) focam mais na quantidade de conteúdo (visto pela alta atividade) do que no valor ou novidade do conteúdo publicado. Esse é caso, por exemplo, de robôs como JsBelowTetz, OliviaTaters, reverseocr e autocopletejok.

A partir dos resultados obtidos neste trabalho, pode-se discutir estratégias de pro-

jeto do comportamento dos robôs em termos, por exemplo, do conteúdo que será publicado por eles e da forma como agirão na rede social. O projeto pode ser orientado ao objetivo de prover novas formas de engajamento com os usuários da rede social. Por exemplo, não foram identificados robôs interativos que tenham foco em conteúdo informativo. Em um projeto de um robô capaz de interagir com usuários sobre um conteúdo do noticiário, a interação deveria ser fundada em noções de valor e novidade das informações. Robôs assim permitiriam um tipo diferente de engajamento com os usuários da rede social, podendo, potencialmente, conciliar resultados de robôs informativos (alta visibilidade e popularidade) com resultados de robôs inteligentes interativos (alta atividade).

Naturalmente, os resultados obtidos neste trabalho não refletem em detalhes o aspecto dinâmico dos robôs e nem a perspectiva dos seguidores dos robôs. É importante explorar mais a fundo aspectos específicos da relação entre os dois, usuários e robôs. Por exemplo, qual a dinâmica de usuários seguindo e deixando de seguir determinados robôs? Que relação isso pode ter com o tipo de conteúdo e com a interatividade do robô? Outro aspecto é a percepção mais qualitativa dos usuários acerca dos robôs. Visibilidade e popularidade são métricas importantes, mas informações qualitativas são necessárias para entendê-las mais a fundo. Por exemplo, quais características os usuários da rede social percebem como positiva e como negativa nos robôs que eles seguem? Qual o objetivo da interação que eles estabelecem com os robôs? Somadas aos resultados apresentados neste estudo, as respostas a essas perguntas podem revelar novas estratégias de projeto de robôs inteligentes que sejam capazes de alcançar maior visibilidade e popularidade.

6. Conclusões e Trabalhos Futuros

Neste trabalho analisou-se características de robôs na rede social Twitter. Foram coletados e analisados dados de 27 robôs. A análise se baseia principalmente nas métricas visibilidade, atividade e popularidade e em diferentes tipos de robôs. Investigou-se tanto os robôs de acordo com cada métrica individualmente e as relações entre métricas. Para se definir tipos de robôs, os robôs foram classificados de acordo com as características dos conteúdos que publicam na rede social e na forma como atuam na rede social (e.g. se interagem ou não com os usuários), os três tipos identificados são: Informativo, Inteligente Interativo e Inteligente Não-Interativo. Os robôs foram analisados de forma individual e por tipo de robô.

Os resultados obtidos neste estudo mostram que os robôs diferem muito entre eles em termos de atividade e possuem diferentes níveis de visibilidade e popularidade na rede social. Popularidade e visibilidade são características que estão fortemente relacionadas; robôs que possuem mais seguidores são os mais mencionados na rede social (menção direta ao robô e republicação de seus conteúdos). A análise de diferentes tipos de robôs revela que robôs inteligentes que utilizam recurso de interatividade com os usuários da rede social são os que exibem maior atividade. No entanto, maior visibilidade e popularidade é recebida por robôs informativos. Dessa forma, entende-se que os usuários buscam tanto novidade quanto valor no conteúdo publicado pelos robôs.

Diversas propostas de evolução deste trabalho são apresentadas. Em particular, seria relevante conduzir estudos que abordem: i) percepções qualitativas dos usuários acerca dos diferentes tipos de robôs discutidos neste estudo; ii) aplicação de algoritmos de criatividade computacional para geração de robôs informativos e interativos, que pu-

bliquem conteúdos que, além de novos, também tenham grande valor para os usuários; iii) investigar robôs que apresentem comportamentos híbridos, variando o formato de interação e tipo de conteúdo. Esses estudos propostos podem revelar conhecimento novo acerca dos fatores determinantes de visibilidade, atividade e popularidade de robôs em redes sociais.

Referências

- Alves, L., Maciel, M., Ponciano, L., and Brito, A. (2012). Assessing the impact of the social network on marking photos as favorites in Flickr. In *Proceedings of the 18th Brazilian Symposium on Multimedia and the Web*, pages 79–82, New York, NY, USA. ACM.
- Araújo, M., Gonçalves, P., Benevenuto, F., and Cha, M. (2013). Métodos para análise de sentimentos no twitter. In *Proceedings of the 19th Brazilian symposium on Multimedia and the Web (WebMedia'13)*.
- Boden, M. A. (2009). Computer models of creativity. *AI Magazine*, 30(3):23.
- Boshmaf, Y., Muslukhov, I., Beznosov, K., and Ripeanu, M. (2011). The socialbot network: when bots socialize for fame and money. In *Proceedings of the 27th annual computer security applications conference*, pages 93–102. ACM.
- Bruns, A. and Stieglitz, S. (2013). Towards more systematic Twitter analysis: Metrics for tweeting activities. *International Journal of Social Research Methodology*, 16(2):91–108.
- Cha, M., Haddadi, H., Benevenuto, F., and Gummadi, P. K. (2010). Measuring user influence in Twitter: The million follower fallacy. *ICWSM*, 10(10-17):30.
- Chae, B. K. (2015). Insights from hashtag# supplychain and twitter analytics: Considering twitter and twitter data for supply chain practice and research. *International Journal of Production Economics*, 165:247–259.
- Colton, S. (2008). Creativity versus the perception of creativity in computational systems. In *AAAI Spring Symposium: Creative Intelligent Systems*, pages 14–20.
- Edwards, C., Edwards, A., Spence, P. R., and Shelton, A. K. (2014). Is that a bot running the social media feed? testing the differences in perceptions of communication quality for a human agent and a bot agent on twitter. *Computers in Human Behavior*, 33:372–376.
- Ellison, N. B. et al. (2007). Social network sites: Definition, history, and scholarship. *Journal of Computer-Mediated Communication*, 13(1):210–230.
- Ferrara, E. (2016). How twitter bots played a role in electing donald trump. <http://www.wired.co.uk/article/twitter-bots-democracy-usa-election> (Acesso: 28 de fevereiro de 2017).
- Ferrara, E., Varol, O., Davis, C., Menczer, F., and Flammini, A. (2016). The rise of social bots. *Commun. ACM*, 59(7):96–104.
- Figueiredo, F., Almeida, J. M., Benevenuto, F., and Gummadi, K. P. (2014). Does content determine information popularity in social media?: A case study of youtube videos' content and their popularity. *CHI '14*, pages 979–982, New York, NY, USA. ACM.

- Furtado, A. and Andrade, N. (2011). Ativistas, passageiros, ocasionais e especialistas: Perfis de usuário na construção de um site de Q&A. In *Anais do VIII Simpósio Brasileiro de Sistemas Colaborativos*.
- Hargittai, E. and Walejko, G. (2008). The participation divide: Content creation and sharing in the digital age. *Information, Communication & Society*, 11(2):239–256.
- Haustein, S., Bowman, T. D., Holmberg, K., Tsou, A., Sugimoto, C. R., and Larivière, V. (2016). Tweets as impact indicators: Examining the implications of automated “bot” accounts on twitter. *Journal of the Association for Information Science and Technology*, 67(1):232–238.
- Orcutt, M. (2012). Twitter mischief plagues mexico’s election. <http://www.technologyreview.com/news/428286/twitter-mischief-plagues-mexico-election/> (Acesso: 28 de fevereiro de 2017).
- Ponciano, L. and Brasileiro, F. (2014). Finding volunteers’ engagement profiles in human computation for citizen science projects. *Human Computation*, 1(2):245–264.
- Ponciano, L., Brasileiro, F., Simpson, R., and Smith, A. (2014). Volunteers’ engagement in human computation for astronomy projects. *Computing in Science and Engineering*, 16(6):52–59.
- Twitter (2017a). Dados do uso do Twitter. <https://about.twitter.com/pt/company> (Acesso: 28 de fevereiro de 2017).
- Twitter (2017b). Twitter developer documentation. <https://dev.twitter.com/overview/documentation> (Acesso: 28 de fevereiro de 2017).
- van Mierlo, T. (2014). The 1% rule in four digital health social networks: An observational study. *J Med Internet Res*, 16(2):e33.
- Varol, O., Ferrara, E., Clayton A. Davis, F. M., and Flammini, A. (2017). Online human-bot interactions: Detection, estimation, and characterization. In *The International Conference on Weblogs and Social Media*, pages 1–10.
- Veale, T. (2015). Computational creativity tutorial. http://videlectures.net/iccc2014_veale_creativity_tutorial/ (Acesso: 28 de fevereiro de 2017).
- Wald, R., Khoshgoftaar, T., Napolitano, A., and Sumner, C. (2013). Predicting susceptibility to social bots on twitter. In *Information Reuse and Integration (IRI), 2013 IEEE 14th International Conference on*, pages 6–13.

Apoiando a Composição de Serviços em Ecossistemas de Software Científico

Phillipe Marques¹, José Maria N. David¹, Victor Ströele¹, Regina Braga¹,
Fernanda Campos¹, Marco Antônio P. Araújo¹

¹Departamento de Ciência da Computação – Universidade Federal de Juiz de Fora
(UFJF) CEP: 36036-900 – Juiz de Fora – MG – Brazil

phillipeisrael@ice.ufjf.br,

{jose.david,victor.stroele,regina.braga,fernanda.campos,marco.araujo}
@ufjf.edu.br

Abstract. *Social Networks allow detecting relationships between people in collaborative environments. The analysis of these relationships arises as an important mechanism to enhance collaboration among research groups, through the development of services, aiming to support the conduct of scientific experiments. In a Scientific Software Ecosystem context, there is a need to compose services obtained from geographically distributed repositories. Therefore, the creation of services is a complex activity and needs adequate support. This work aims to present a solution to support the composition of services from the use of visualization of multi-relational social networks.*

Resumo. *Redes Sociais permitem detectar relações entre pessoas em ambientes colaborativos. A análise dessas relações surge como um importante mecanismo para potencializar a colaboração entre os grupos de pesquisa, através da criação de serviços, visando apoiar a realização de experimentos científicos. No contexto de um Ecossistema de Software Científico, é necessário compor serviços obtidos de repositórios geograficamente distribuídos. Portanto, a criação de serviços é uma atividade complexa e necessita de um suporte adequado. Este trabalho tem como objetivo apresentar uma solução para apoiar a composição de serviços a partir da utilização de visualização de redes sociais multi-relacionais.*

1. Introdução

A área de *e-Science* tem como objetivo auxiliar cientistas na realização de experimentos científicos frequentemente conduzidos por equipes geograficamente distribuídas. Essas equipes podem reutilizar serviços web, ou outros tipos de serviços, quando trabalham em domínios de aplicação similares. O suporte à colaboração é necessário, por permitir a coordenação de atividades na execução de tarefas que compõem a experimentação. Além disso, oportunidades de colaboração podem ser úteis por permitir que cientistas interajam com potenciais parceiros em suas pesquisas. Neste contexto, elementos que criam oportunidades de colaboração na área científica podem ser úteis também para o apoio à decisão. Consideremos, por exemplo, um contexto no qual cientistas de diferentes institutos de pesquisa estão geograficamente distribuídos. Se estes cientistas possuírem uma relação de coautoria ou trabalharem em áreas similares, uma oportunidade de colaboração pode surgir. Isto permite a eles reutilizarem os mesmos serviços científicos, ou serviços semelhantes.

Diante da necessidade de auxiliar cientistas na realização de experimentos científicos, a plataforma E-SECO (do inglês *E-Science Software Ecosystem*) foi proposta (Freitas et al., 2015). Esta plataforma se baseia na abordagem de um Ecossistema de Software Científico (ECOSC). Manikas (2016) define um Ecossistema de Software (ECOS) como: “a interação entre software e ator em relação a uma infraestrutura tecnológica comum, que resulta em um conjunto de contribuições e influências direta ou indireta em relação ao ecossistema”. Freitas et al. (2015) caracterizam um ECOSC por suas relações com fornecedores de software científico, institutos de pesquisa, órgãos de fomento, instituições financiadoras e partes interessadas nos resultados de pesquisa.

A plataforma E-SECO possui um processo de desenvolvimento que permite construir serviços e adicioná-los à plataforma (Arakaki et al., 2016). O processo de desenvolvimento inclui as seguintes atividades: (i) Planejamento inicial, (ii) Busca e recuperação de serviços, (iii) Criação de serviços, e (iv) Composição de serviços. Esta última permite que serviços que foram utilizados em experimentos anteriores, possam ser reutilizados e compostos. Para tanto, é necessário prover suporte à colaboração entre diferentes grupos de pesquisa. Neste contexto, a identificação de relações entre diferentes cientistas, geograficamente distribuídos, é importante para auxiliar a avaliação destas novas composições. Acreditamos que uma solução que permita analisar e visualizar redes sociais científicas seja capaz de prover informações para auxiliar o desenvolvimento de serviços, especialmente, a atividade de composição de serviços. Além disto, um suporte à interoperabilidade entre serviços e a possibilidade de identificar dependências entre serviços, em uma composição, auxilia na avaliação das composições realizadas. A interoperabilidade pode ser definida como a capacidade de diferentes sistemas usarem os serviços uns dos outros efetivamente (Pokraev, 2009).

Ströele et al. (2017) apresentam uma ferramenta que permite realizar a análise de uma rede social científica baseada em visualizações. Para realizar esta visualização, são utilizadas técnicas de agrupamento, baseadas em mineração de dados. Embora esta ferramenta permita apresentar uma visualização de redes científicas, a sua utilização não está integrada a um ECOSC, e não foi proposta para apoiar o desenvolvimento de serviços integrados a uma plataforma de ecossistema de software.

O objetivo deste trabalho é apresentar um serviço, denominado SCView, cujo objetivo é apoiar a composição de outros serviços em uma plataforma de ECOSC. Esta solução é baseada na visualização de serviços e na análise de redes sociais. Através desta análise e de elementos de visualização, pesquisadores podem interagir para avaliar as composições realizadas. No contexto do mundo real, as redes sociais são principalmente multi-relacionais, isto é, as pessoas ou instituições estão relacionadas através de diferentes tipos de relacionamentos. Esta visualização busca identificar redes de pesquisadores e, através da comunicação entre estes cientistas, apoiar a tomada de decisões sobre as composições de serviços realizadas na plataforma E-SECO. Através dos resultados obtidos, buscamos melhorar o processo de desenvolvimento de serviços na plataforma potencializando a colaboração na realização de experimentos científicos.

Como contribuição, este trabalho apresenta uma solução integrada a uma plataforma de ecossistemas para apoiar a colaboração no desenvolvimento de serviços. Esta solução é baseada na análise de redes sociais científicas e na visualização da composição de outros serviços.

Este trabalho está organizado da seguinte maneira: a seção 2 apresenta trabalhos relacionados. A seção 3 apresenta a plataforma E-SECO. A seção 4 detalha o modelo adotado para análise de redes sociais científicas multi-relacionais, destacando seus conceitos. A seção 5 apresenta a ferramenta de visualização para redes sociais, realizando uma análise sobre a rede. A seção 6 apresenta uma avaliação da solução para apoiar a composição de serviços, destacando como equipes distribuídas, identificadas a partir das redes sociais, colaborem na avaliação de serviços compostos na plataforma. Por fim, a seção 7 apresenta as conclusões obtidas e trabalhos futuros.

2. Trabalhos Relacionados

O crescimento das redes sociais deve-se à evolução da Web. Em muitos problemas de redes sociais científicas, apenas a coautoria é analisada (Evans et al., 2011), porém, redes sociais podem ter outros tipos de relacionamentos. Utilizar visualização em redes sociais permite uma análise mais eficaz das informações extraídas. Isto porque a visualização fornece um modo natural para expressar a conectividade entre os elementos.

Manikas (2016) apresenta uma pesquisa através da qual identifica propostas relacionadas a redes sociais e colaborativas, no contexto de ECOS (Santos et al., 2012) (Sadi e Yu, 2014). Santos et al. (2012) apresentam uma rede sociotécnica, envolvendo as dimensões técnica e social de um ECOS. A dimensão social permite analisar como os *stakeholders* contribuem ao ECOS, através da colaboração entre eles, enquanto a dimensão técnica está focada na plataforma (Campbell e Ahmed, 2010). A evolução do processo de desenvolvimento de software é abordada por Sadi e Yu (2014). Na solução proposta pelos autores, as redes de atores são utilizadas para modelar o contexto sociotécnico de desenvolvimento. Como resultado, permite analisar todas as forças envolvidas no desenvolvimento de software, considerando aspectos técnicos e sociais. Entretanto, esses trabalhos não analisam as especificidades de uma rede científica, focando principalmente em aspectos de desenvolvimento de uma plataforma de ECOS. Além disso, não exploram a forma pela qual cientistas podem participar do processo de desenvolvimento de serviços. Especificamente, estamos interessados em apoiar o processo de composição de serviços. Esse processo deve ser capaz de ajudar equipes de cientistas a reutilizar os serviços para a composição de novos serviços. No contexto de um ECOS, a composição de serviços obtida de diferentes fontes é fundamental, tendo em vista a complexidade e a diversidade dos requisitos que necessitam ser atendidos. Desta forma, as equipes distribuídas geograficamente, identificadas pelo algoritmo de agrupamento, podem colaborar entre si na avaliação das composições realizadas.

A utilização de redes sociais em ECOS é abordada por Santos et al., (2014), porém, questões relacionadas à colaboração entre os pesquisadores identificados, visando apoiar a composição de serviços em uma plataforma de ECOS não são tratadas.

A solução proposta no presente trabalho permite realizar o agrupamento de comunidades científicas, criando diferentes níveis de abstração. A partir dos grupos identificados, é possível descobrir aqueles com interesses comuns que possam avaliar e tomar decisões em relação à composição de serviços.

Uma tendência crescente na utilização de serviços distribuídos na web, que podem ser compostos, é analisada por Autili et al. (2016). Neste trabalho, é destacada uma tendência da internet a possuir uma rede de serviços com baixo acoplamento e

processos de negócios dinâmicos e flexíveis. Nesta rede, a composição de serviços terá um papel importante. Para realizar a composição de serviços, a literatura apresenta trabalhos que utilizam uma análise de entradas e saídas de serviços de maneira sintática e semântica (Mier et al. 2015) (Chen et al. 2017). Porém, a análise de interoperabilidade entre serviços disponíveis não é realizada. Considerando-se a relação entre interoperabilidade e a capacidade de composição de serviços, a análise da influência da interoperabilidade ao selecionar serviços para o processo de composição é fundamental.

Baseando-se na análise da literatura realizada, propomos apresentar uma solução que considere aspectos relacionados às dimensões técnica e social de um ECOS e que ofereça um suporte à composição de serviços. Os aspectos que influenciam a dimensão técnica na plataforma são a interoperabilidade entre serviços e a possibilidade de reutilização de serviços web. O suporte à interoperabilidade oferecido pela plataforma permite obter serviços que interoperam não apenas a nível sintático e semântico, mas também a nível pragmático (Neiva et al., 2015). As redes sociais científicas, por sua vez, influenciam a dimensão social. Esta influência se relaciona à capacidade de gerar conhecimento quando são identificados diferentes grupos de pesquisa, geograficamente distribuídos, e que possuem interesses em comum. O conhecimento é gerado a partir das discussões entre esses grupos, e das avaliações dos serviços compostos que foram desenvolvidos.

3. Plataforma E-SECO

A plataforma E-SECO foi desenvolvida seguindo a abordagem de um ECOSC (Freitas et al., 2015). Nela, é possível conduzir e gerenciar experimentos científicos, que são frequentemente atividades colaborativas. Como ilustrado na Figura 1, o “Ambiente de Desenvolvimento do E-SECO” é um componente web no qual o código da plataforma é disponibilizado como *open source*¹. O ecossistema é composto de artefatos fornecidos por diferentes nós situados em diferentes instituições. A plataforma utiliza uma rede ponto-a-ponto (P2P) (Freitas et al., 2015) através da qual diferentes nós se comunicam. Esta rede fornece uma Camada Cliente que permite a busca por pontos, busca por artefatos e *download* de artefatos. Os artefatos incluem serviços, workflows, documentos de revisões sistemáticas da literatura, conjuntos de dados, modelos, entre outros. As APIs permitem auxiliar o desenvolvimento de workflows científicos em diferentes passos, em um ambiente de desenvolvimento *open source*. Através das APIs, os usuários consomem recursos para criar produtos e artefatos que adicionam valor à plataforma. A partir destas características, a comunidade de desenvolvedores pode estender, adaptar e utilizar as funcionalidades da plataforma com outras aplicações em diferentes domínios.

Além disso, a plataforma E-SECO oferece um ambiente colaborativo para apoiar o desenvolvimento e a execução de workflows científicos. Apoia a análise de proveniência de dados durante a execução de workflows através do “Módulo de Dados de Proveniência”, ilustrado na Figura 1 (Sirqueira et al., 2016). Cheney et al. (2012) classificam proveniência de dados como a informação sobre a origem, contexto, derivação, propriedade ou histórico de algum artefato. Convém ressaltar que, embora o serviço SCView utilize o módulo de proveniência, não é objetivo deste trabalho abordar sobre este módulo. A plataforma permite também conectar serviços de diferentes fontes.

¹ <https://github.com/pgcc/plscience-ecos>

Esses serviços devem ser capazes de interoperar em alto nível de abstração, a fim de alcançar uma colaboração significativa para apoiar o desenvolvimento de workflows científicos.

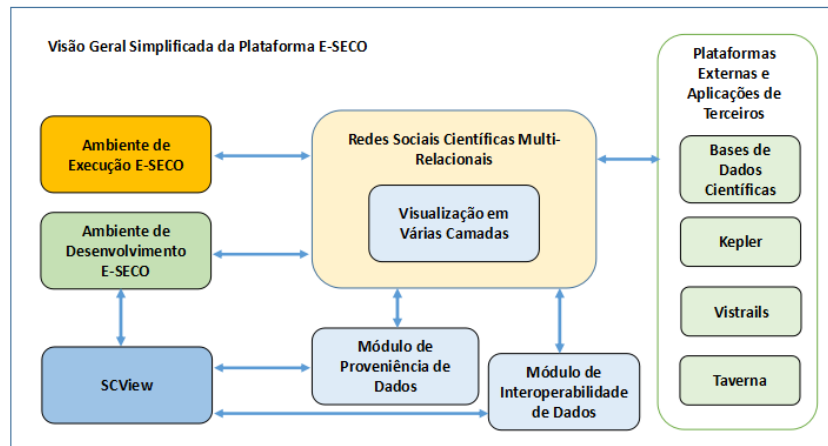


Figura 1. Visão Geral Simplificada da plataforma E-SECO

3.1. Composição de Serviços na Plataforma E-SECO

Para participar de um experimento, cientistas necessitam do suporte de serviços oferecidos pela plataforma E-SECO por fontes externas (MyExperiment², BioCatalogue³, entre outras). A plataforma E-SECO oferece um serviço para apoiar a identificação de redes de colaboração e coautoria. Essa identificação permite descobrir diferentes redes de pesquisadores que possam validar as composições realizadas na plataforma, que devem satisfazer os requisitos das partes interessadas no experimento.

Para registrar os serviços, é realizada a anotação semântica de serviços obtidos de diferentes repositórios. Inicialmente, é realizada uma pesquisa baseada em palavras-chave ou termos relacionados ao contexto de uso de um serviço. Como resultado, os serviços são listados de forma padronizada. Assim, é possível obter informações sobre o repositório de origem e os metadados relacionados à descrição do serviço. Neste contexto, serviços atômicos e compostos podem ser registrados. Serviços atômicos realizam uma ação específica, enquanto os serviços compostos são formados por múltiplos serviços atômicos. Informações adicionais relacionadas ao contexto de uso do serviço também podem ser registradas.

Visando auxiliar a atividade de composição, a plataforma oferece o serviço SCView, conforme ilustrado na Figura 1. Visualizar as relações da composição permite que *stakeholders* (desenvolvedores e cientistas) possam analisar as dependências funcionais e aquelas relacionadas à interoperabilidade entre os serviços. Para tanto, a abordagem PRIME (Neiva et al., 2015) é utilizada pelo serviço SCView, para realizar o ranqueamento de serviços interoperáveis, de acordo com os parâmetros informados a partir de uma requisição. A partir da seleção de um serviço entre os ranqueados, desenvolvedores podem analisar visualmente quais serviços estão associados ao que foi selecionado.

² <http://www.myexperiment.org/home>

³ <https://www.biocatalogue.org/>

Para realizar a representação visual, o SCView utiliza um grafo $G = (V, E)$. Onde V é um conjunto de vértices que representa todos os serviços associados à seleção. Cada serviço $s \in V$ é apresentado como um nó. E por sua vez, representa um conjunto com todas as arestas presentes no grafo, onde $E = D \cup I$. D é um conjunto de arestas direcionadas que indicam dependências entre serviços. Cada aresta $d \in D$ indica que um serviço s_1 depende de um serviço s_2 . I , por sua vez, representa um conjunto de arestas não direcionadas que indicam interoperabilidade entre serviços. Cada aresta $i \in I$ indica que dois serviços são capazes de interoperar. Este grafo possui arestas direcionadas, indicando dependências funcionais, e não direcionadas, indicando interoperabilidade.

Conforme mostrado na Figura 2, os serviços compostos são representados por nós em cor vermelha. Os serviços recuperados do repositório “BioCatalogue” são representados por nós em cor preta, enquanto os serviços recuperados de instâncias da plataforma E-SECO são representados por nós em cor verde. Os serviços que interoperam são ilustrados por linhas tracejadas.

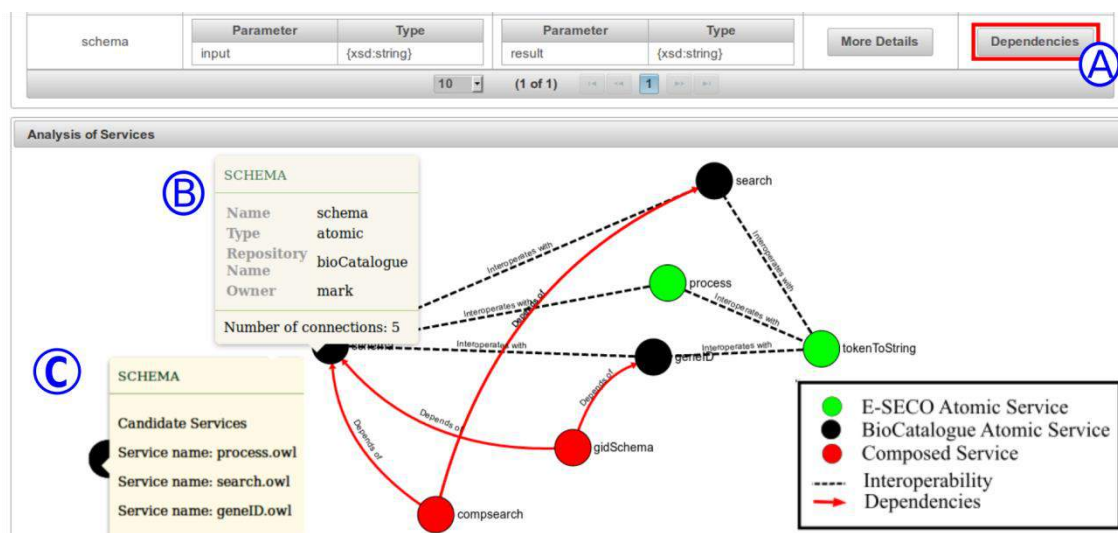


Figura 2. Grafo gerado pelo SCView com relações de dependência e interoperabilidade

No SCView, desenvolvedores podem selecionar o botão “Dependencies” (Figura 2-A). Como resultado, é apresentado um grafo (Figura 2-B), e o conjunto de dados do desenvolvedor de serviços é exibido, bem como o repositório de origem e o tipo de serviço. A partir dessas informações, a importância do serviço e os impactos de modificações, ou remoções, podem ser verificados. Assim, os pesquisadores interessados neste serviço, identificados pela ferramenta de visualização de redes sociais, podem participar da avaliação dessa composição. Além disso, o grupo de desenvolvedores responsáveis pela construção tem a informação dos requisitos e os cientistas interessados na construção do serviço.

A partir do grafo gerado os *stakeholders* identificados podem avaliar as dependências entre os serviços e verificar quais serviços podem se comunicar. Se o serviço não atender à requisição, o desenvolvedor pode selecionar outro serviço mais adequado. Para isso, ele necessita selecionar um nó (serviço) com o cursor e, clicar com o botão direito para visualizar candidatos para substituição (Figura 2-C). Quando esta ação é realizada, são mostrados serviços semanticamente compatíveis com as entradas e

saídas do serviço atual. O desenvolvedor pode então selecionar um serviço e gerar uma nova composição. O serviço composto é então anotado semanticamente e registrado. Neste ponto, a solução considera não apenas as métricas de dependência funcional, mas a capacidade de interoperar com outros serviços (locais e geograficamente distribuídos). Além disso, é possível realizar uma nova busca adicionando parâmetros relacionados à interface de serviço e novas informações contextuais, para obter serviços pragmaticamente interoperáveis. Finalmente, o serviço composto pode ser validado pelos cientistas identificados e, geograficamente distribuídos, representados na visualização da rede social.

O módulo de visualização da plataforma E-SECO, denominado “Multi-Layer Visualization”, suporta a extração e análise das relações estabelecidas nas redes sociais científicas. Ele implementa todos os aspectos relacionados à Rede Social Científica Multi-Relacional. Este módulo está relacionado ao ambiente de desenvolvimento de software científico, bem como “E-SECO Execution Environment”. Além disso, o módulo de visualização recebe dados da execução de workflows científicos, bem como das plataformas externas, como Kepler, Tavern, VisTrails e outras bases de dados científicas (DBLP, plataforma Lattes, ResearchGate, entre outros). O serviço SCView interage com o módulo de visualização utilizando o módulo de interoperabilidade. Isto permite analisar visualmente serviços que são interoperáveis.

Visando apresentar como as redes complexas são utilizadas na plataforma, a próxima seção apresenta as estratégias utilizadas para gerar as redes complexas, permitindo identificar grupos de pesquisa que colaboram entre si. Assim, é possível observar como as bases de dados científicas apoiam a plataforma, permitindo agrupar pesquisadores de acordo com relações de colaboração.

4. Estratégias de Análise de Redes Complexas

A utilização de um modelo de rede social científica multi-relacional é importante por auxiliar a colaboração entre pesquisadores na plataforma E-SECO. Este modelo permite a identificação de grupos de pesquisa que podem colaborar em experimentos científicos realizados na plataforma. A colaboração entre *stakeholders* associa-se ao conhecimento necessário para apoiar a dimensão social em um ECOS.

Para apoiar a dimensão técnica de um ECOS, utiliza-se o serviço SCView. Este serviço é utilizado para visualizar composições de serviços, obtidos de diferentes instituições de pesquisas. A visualização de grupos de pesquisadores, quando associada ao SCView, permite que redes sociais contribuam na identificação de instituições e pesquisadores, agrupando-os de acordo com relações de colaboração. Desta forma, os grupos identificados podem avaliar as composições realizadas de maneira colaborativa, descrevendo o que pode ser alterado ou opinando sobre detalhes do serviço que podem ser úteis para sua execução. Em redes sociais científicas, dois participantes são considerados conectados se ambos são coautores em um artigo (Newman, 2004), colaboraram em um experimento ou compartilham os mesmos interesses científicos. Estas redes são mais complexas, pois suas relações envolvem diferentes tipos de colaboração ou interação científica. Assim, podemos considerar que as Redes Sociais Científicas são uma espécie de Rede Social Multi-Relacional. Em redes multi-relacionais, a troca de conhecimento ocorre através de diferentes tipos de relacionamentos. A análise destas redes pressupõe que os elementos estão trocando

diferentes tipos de conhecimento, dependendo dos tipos de relacionamentos a eles associados. Para analisar a estrutura da rede social científica, foram adotadas duas estratégias: análise de centralidade de elementos e agrupamento.

4.1. Importância Local e Importância Global

Várias métricas de centralidades caracterizam a estrutura de uma rede complexa, tais como: *Closeness*, *Betweenness*, *Node Degree*, entre outras (Wasserman e Faust, 1994). Estas métricas podem definir os nós mais importantes da rede. A importância do nó é dada com base na semântica da rede complexa. Ströele et al. (2017) caracterizam o grau de importância dos pesquisadores por seu potencial de colaboração. Dessa forma, duas métricas são utilizadas, uma para analisar a centralidade global dos pesquisadores e outra para avaliar a centralidade local. A centralidade global baseia-se no conceito de distância, para identificar os elementos mais centrais de uma rede complexa. Elementos globalmente centrais permitem espalhar informações para a rede mais rapidamente do que outros. Por isso é importante identificá-los. Neste trabalho, a métrica *Closeness* será adotada como métrica global, analisando o potencial de colaboração dos pesquisadores, considerando a rede como um todo. A centralidade local, por sua vez, analisa as conexões dos vizinhos de um nó. Essa métrica tem como objetivo caracterizar se o nó considerado está significativamente conectado a seus vizinhos (se possui influência local). Por fim, a métrica *Node Degree* é utilizada para analisar a colaboração local dos pesquisadores, identificando seu potencial de colaboração com seus vizinhos.

A figura 3-A apresenta a métrica *Closeness*, onde V é o conjunto de pesquisadores, “ n ” é o número de pesquisadores na rede social científica, “ $d(x, y)$ ” é uma função que calcula a colaboração entre os pesquisadores “ x ” e “ y ” e “ X ” é o pesquisador para quem a proximidade (*closeness*) está sendo calculada. A figura 3-B, por sua vez, apresenta a métrica de *Node Degree*, onde “ $g(x)$ ” é o número de links que o pesquisador “ x ” tem, “ n ” é o número de pesquisadores na rede social científica e “ x ” é o pesquisador para quem a Centralidade Local foi calculada.

The figure contains two mathematical formulas labeled A and B. Formula A is $C_x = \frac{\sum_{y \in V - \{x\}} d(x, y)}{n - 1}$. Formula B is $LC_x = \frac{2 \times g(x)}{n(n - 1)}$. Both formulas are enclosed in a rectangular box.

Figura 3. Métricas de *Closeness* (A) e *Node Degree* (B), utilizadas para caracterizar o potencial de colaboração entre pesquisadores

Elementos com alta centralidade local representam pesquisadores com alta colaboração entre seus pares. Geralmente, esses pesquisadores representam um grupo de pesquisa em suas instituições. Por outro lado, os pesquisadores com alta centralidade global têm alta colaboração com a maioria dos pesquisadores de redes sociais, ou seja, são capazes de propagar suas ideias mais facilmente para vários pesquisadores da rede científica. Além da análise estrutural da rede científica, foram também utilizadas estratégias de agrupamento para identificar as comunidades de pesquisa científica. Tais estratégias foram utilizadas na visualização da rede científica. Esta visualização tem como objetivo identificar diferentes grupos de pesquisadores no grafo, a partir das relações entre eles. A seção 4.2 apresenta o algoritmo de agrupamento utilizado.

4.1.1. Importância Global para a Composição de Serviços

Buscando caracterizar os serviços mais importantes em uma rede que inclui relações de dependências e interoperabilidade entre serviços, utilizou-se a métrica de *Closeness*. Analisar a importância destes serviços permite avaliar o impacto causado na rede, caso ocorra alguma falha em um dos serviços. Esta métrica permite capturar o quão central é o vértice (serviço) em relação à rede de composição como um todo. Assim, são consideradas todas as arestas, tanto as que indicam interoperabilidade, quanto aquelas que indicam dependências associadas à composição de serviços, desconsiderando o sentido das arestas que indicam dependência.

A métrica de *Closeness*, ilustrada na Figura 3-A, será utilizada para apoiar a composição de serviços. Para tanto, V representa o conjunto de serviços, “ n ” representa o número de serviços $d(x,y)$ de uma função que calcula a distância entre serviços “ x ” e “ y ” e “ x ” é o serviço para o qual a métrica de *Closeness* está sendo calculada. Assim, é possível analisar a importância de um serviço a partir de sua centralidade na rede. Esta métrica é aplicada aos serviços atômicos que são utilizados em composições. No grafo gerado, os nós (serviços), cujo valor de centralidade calculado seja inferior a 2, recebem arestas com maior espessura, indicando que são serviços mais centrais na rede, possuindo, portanto, maior importância para a rede. Para caracterizar as dependências utilizou-se as métricas de *fan-in* e *fan-out*. Marin et al., (2004) definem *fan-in* de um método m como o número de métodos distintos que podem invocar m e *fan-out* de um método m como o número de métodos distintos que podem ser invocados por m . No caso deste trabalho, onde consideramos *web services*, *fan-in* se relaciona ao número de serviços que chamam o serviço analisado, enquanto *fan-out* representa o número de serviços atômicos chamados por um serviço composto.

4.2. Algoritmo de Agrupamento: Fluxo Máximo

O algoritmo de agrupamento tem como objetivo identificar grupos de pessoas no grafo social que possuem um relacionamento forte entre eles. Para realizar esta identificação, o algoritmo segue a estratégia de analisar fluxos de conhecimento em rede social. Assim, pessoas com um grande fluxo de informações entre elas possuem tendência a pertencer a um mesmo grupo.

O Grafo Social com fluxo será representado por $G = (X, U, f)$, onde temos X como o conjunto de pesquisadores, U como o conjunto de relações entre pesquisadores e $f(m + 1$ vetor dimensional) como o conjunto de fluxos máximos entre cada par de pesquisadores. Assim, para todo $x_i, x_j \in X$, o fluxo máximo entre estes dois pesquisadores será f_w , onde $0 \leq w \leq m$. O cálculo do fluxo máximo entre os elementos foi feito usando o algoritmo de Edmonds-Karp (Edmonds e Karp, 1972). Mais detalhes sobre o algoritmo utilizado podem ser encontrados em (Ströele et al. 2017).

5. Ferramenta de Visualização de Redes Sociais na Plataforma E-SECO

O principal objetivo da ferramenta de visualização é apoiar a interação e análise de redes aos usuários da plataforma E-SECO sob diversas perspectivas. Assim, é possível buscar parceiros científicos, propor novos grupos semânticos na plataforma E-SECO, e promover a disseminação do conhecimento na plataforma.

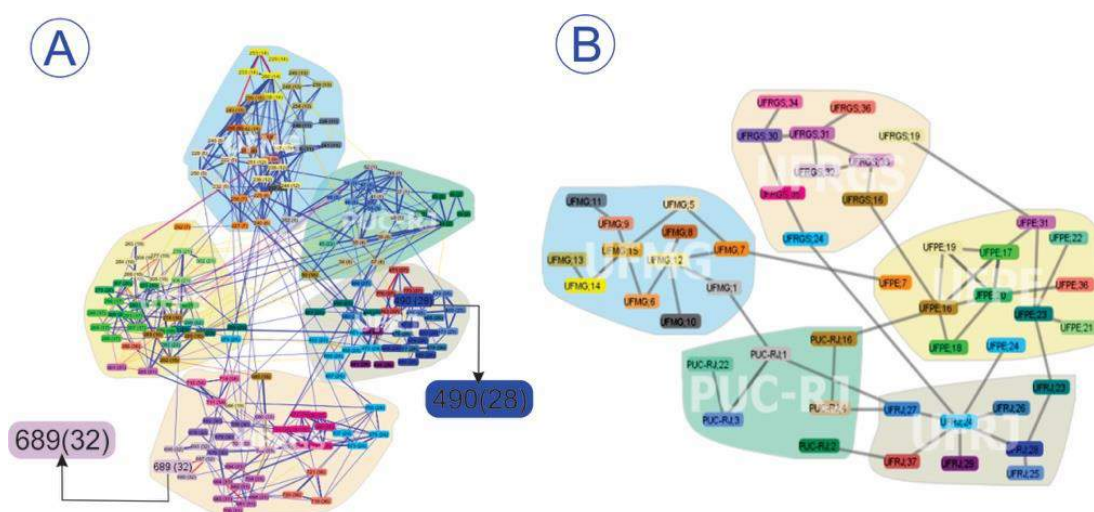


Figura 4. Visualização de Redes Sociais Científicas

A Figura 4-A exemplifica a visualização da rede social em um ano específico. As linhas mais grossas representam novas relações e os maiores elementos (689 e 490) representam pesquisadores que entraram na rede social científica neste ano. Para facilitar a análise de múltiplas relações entre os pesquisadores, a ferramenta de visualização utiliza bordas com cores distintas para cada tipo de relação. Além disso, os usuários podem filtrar o tipo de relacionamento e os pesquisadores que desejam visualizar. A rede social pode ser visualizada em três diferentes níveis. No primeiro nível é possível visualizar instituições educacionais e relações entre elas. No segundo nível (Figura 4-B), a ferramenta de visualização exibe os agrupamentos produzidos pelo algoritmo de mineração de dados, isto é, comunidades de pesquisa com interesses comuns. No terceiro nível (Figura 4-A), todos os pesquisadores das cinco instituições educacionais podem ser visualizados. Cada número, entre parênteses, nos quadrados menores identifica um grupo gerado pelo método de agrupamento. Através dessas visualizações, as redes científicas multi-relacionais necessitam ser analisadas no sentido de identificar, por exemplo, a importância de um pesquisador em um contexto específico.

5.1. Análise da Rede Social Científica

Como já mencionado, as análises são realizadas em diferentes níveis de visualização permitindo um maior ou menor detalhamento. Adicionalmente, todas as figuras apresentadas foram produzidas pelo módulo de visualização multicamada da plataforma E-SECO.

Para analisar a importância de um pesquisador, consideramos as métricas apresentadas na seção 4. Foram avaliadas as centralidades locais e globais de cada pesquisador na rede social científica. Essas análises foram concebidas para identificar pesquisadores que são críticos para a colaboração científica em âmbito global e local. Esses pesquisadores são capazes de influenciar um grande número de pesquisadores e outros que trabalham fortemente com seus pares de pesquisa. A rede social científica permitiu observar que pesquisadores que não possuem alta centralidade global não colaboram com pesquisadores distantes na rede, ou seja, não são pesquisadores críticos. Por outro lado, possuem alta centralidade local, indicando que colaboram com seus pares imediatos. Assim, embora não tenham ampla colaboração, esses pesquisadores

são importantes para o desenvolvimento do trabalho em seus grupos de pesquisa considerando seu potencial de colaboração local. A rede social permitiu observar também que os pesquisadores com alta centralidade global, são candidatos para a difusão da informação, devido ao grande potencial de colaboração com a maioria dos pesquisadores.

A análise de agrupamento, por sua vez, permite avaliar como ocorre a colaboração entre pesquisadores. Além disso, podemos estudar a troca de conhecimento entre grupos e instituições educacionais. Em nossos estudos consideramos apenas a relação de coautoria (Evans et al., 2011). Comparando os resultados obtidos em estudos anteriores percebemos que, com a adição de novas relações na rede social, a estrutura do grupo mudou. Em alguns casos, pesquisadores que estavam em diferentes grupos se mudaram para o mesmo grupo. Isso ocorreu porque esses pesquisadores têm múltiplas relações uns com os outros. Consequentemente, as relações destes pesquisadores são mais fortes do que aquelas entre pesquisadores que têm apenas relações de coautoria. Ainda, considerando a estrutura do agrupamento, também analisamos as centralidades locais e globais dos grupos de pesquisa considerando cada grupo como um único elemento que consolida todas as relações de seus membros na rede social científica.

Uma análise mais detalhada sobre rede social científica é realizada em (Ströele et al., 2017). A próxima seção apresenta um cenário de utilização que caracteriza como as redes sociais científicas podem apoiar o processo de composição de serviços na plataforma E-SECO.

6. SCView em ação

Para analisar as composições de serviço que podem ser realizadas, um cenário de uso para SCView é apresentado no contexto da plataforma E-SECO. Através deste cenário estamos interessados em analisar como a utilização de redes sociais permite identificar potenciais grupos que podem colaborar entre si. Esta atividade está relacionada ao suporte à composição de serviços no contexto de um ecossistema de software científico. O objetivo deste cenário é caracterizar a reutilização de serviços obtidos de diferentes repositórios. A reutilização está relacionada à capacidade de composição, na perspectiva dos desenvolvedores, no contexto de um ECOSC. Para isso, esses desenvolvedores utilizam o serviço de visualização para analisarem as dependências (funcionais e interoperabilidade) entre os serviços.

Cenário: inicialmente, a partir dos requisitos especificados, o desenvolvedor acessou a interface da plataforma E-SECO para fazer uma solicitação e localizar os serviços registrados. Consideramos a situação na qual o desenvolvedor não informa parâmetros de entrada e saída na requisição, mas o termo “Protein Database” como uma descrição de serviço e “Public” como o tipo de licença para o serviço. Ao executar a pesquisa, o sistema classifica os serviços disponíveis no repositório por relevância. O serviço de suporte à interoperabilidade permite realizar esta classificação considerando aspectos sintáticos, semânticos e pragmáticos. O serviço “schema” foi então selecionado. O desenvolvedor seleciona este serviço através do botão “Dependencies” (Figura 5-A). Assim, um grafo é gerado conforme ilustrado na Figura 5. Este grafo apresenta serviços que interoperam com o serviço selecionado e as dependências relacionadas aos serviços (Figura 5-B). Neste exemplo, os cientistas interessados são aqueles que pertencem ao grupo UFRJ. Eles irão participar da validação da composição. Caso seja necessário analisar a rede social entre pesquisadores de instituições que colaboram com o grupo

UFRJ, os desenvolvedores precisam selecionar o botão “Exibir Rede Social” (Figura 5-C). Uma rede com múltiplas relações entre pesquisadores será apresentada em uma nova janela (Figura 5-D). Conforme observado na Figura 5-D, o grupo UFRJ foi identificado pelo serviço de análise de redes sociais, possuindo relações de coautoria com outras instituições. Isto possibilita que os grupos identificados possam colaborar para avaliar a composição de serviços realizada. Nesta rede é apresentada uma visualização de segundo nível, através da qual é possível analisar diferentes grupos (*clusters*) produzidos por um algoritmo de mineração de dados. Através dessa visualização foi possível identificar outros cientistas que podem participar da validação dessa composição.

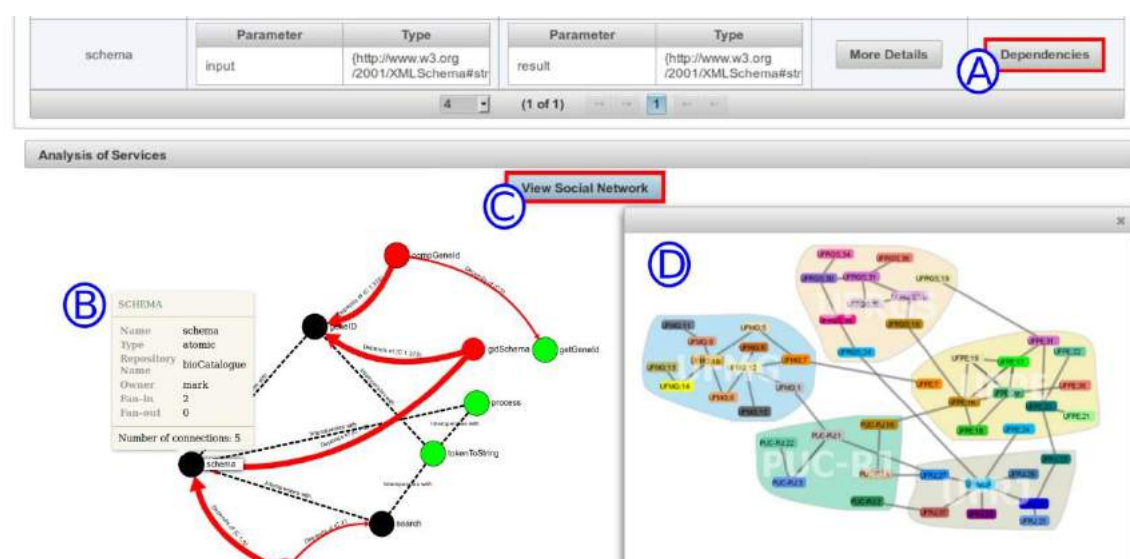


Figura 5. Suporte à Composição de Serviços na Plataforma E-SECO

A partir da rede social gerada, identificou-se o grupo de pesquisa da UFJF como potencial colaborador, devido aos interesses de pesquisa e trabalhos já realizados em parceria.

A figura 6 destaca o grafo de composição gerado, com o apoio à validação de composições. Visando analisar as dependências do serviço, o cientista João pode também posicionar o cursor sobre o nó que representa o serviço escolhido para obter informações de dependências. Para tanto, são apresentadas métricas de *fan-in* e *fan-out*. Estas informações são importantes para destacar os impactos que podem ser causados caso um serviço falhe, ou caso seja removido da rede.

Neste cenário, o cientista posicionou o cursor sobre o serviço “schema”, o qual apresentou o valor “2” para *fan-in* e “0” para *fan-out* (Figura 6-A). Isto indica que dois serviços utilizam o serviço selecionado e que este serviço não utiliza nenhum outro. Portanto, sua remoção pode causar um impacto para os serviços que o utilizam. Quando aplicamos estas métricas a todos os serviços da rede, é possível avaliar o impacto causado para a rede caso ocorram alterações na versão do serviço ou alguma falha. Além disto, podemos avaliar se determinado serviço possui alta complexidade. Um alto valor de *fan-in* indica um grande impacto para mudanças. Um alto valor de *fan-out*, por sua vez, indica uma maior complexidade do serviço composto.

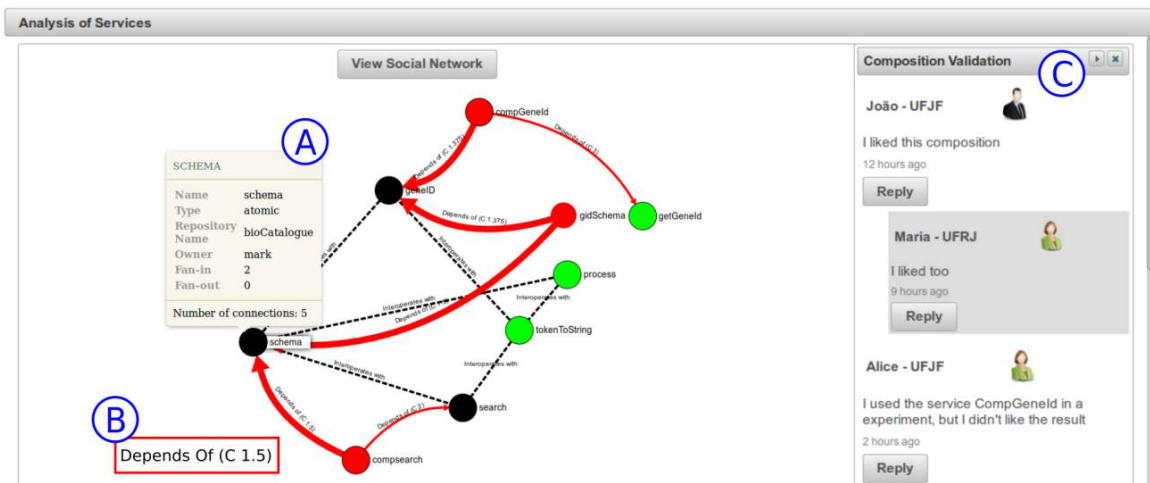


Figura 6. Análise do Grafo Gerado e Validação da Composição

O grafo apresentado possui arestas que indicam dependências com diferentes níveis de espessura, de acordo com o valor de *Closeness* calculado para o serviço que é utilizado em composições. Neste caso, este valor foi calculado para 3 diferentes serviços: “search”, “schema” e “genelid”. Para o serviço “search”, o valor de *Closeness* obtido foi igual a “2”. Por isto, a aresta de dependência que conecta o serviço “compsearch” ao serviço “search” possui menor espessura, pois este serviço não é muito central na rede, não sendo muito importante para a rede como um todo. O valor de *Closeness* obtido é mostrado na aresta que conecta serviços compostos e suas dependências. Para o serviço “schema”, o valor obtido foi igual a “1,5” (apresentado visualmente nas arestas que se conectam ao serviço e destacado na Figura 6-B), enquanto para o serviço genelid, o valor encontrado foi igual a “1,375”. Isto indica que os serviços “schema” e “genelid” são mais centrais na rede e, portanto, possuem maior importância para a rede.

A importância de analisar serviços que interoperam entre si também deve ser destacada. Para tanto, a plataforma utiliza o serviço de suporte à interoperabilidade, descrito anteriormente. É a partir desta análise que um cientista pode descobrir visualmente quais potenciais serviços podem substituir um serviço específico. Assim, em um caso de falha de um serviço identificado pela métrica de *Closeness* como mais central na rede, por exemplo, o cientista pode identificar visualmente outros que podem substituí-lo.

Com base nessas informações, cientistas podem utilizar o serviço de validação de composições (Figura 6-C) para se comunicar com potenciais colaboradores geograficamente distribuídos e, assim, avaliar a composição realizada. Desta forma, colaboram com sua experiência para destacar, por exemplo, a utilidade da composição ou se o resultado da execução do serviço desejado foi satisfatório em relação às expectativas. É importante ressaltar que, devido às limitações de espaço, não é parte do escopo deste artigo apresentar e discutir como essa validação ocorreu através de um serviço de suporte à discussões, ilustrado na Figura 6-C.

7. Conclusão

Ao apoiarmos a interação entre especialistas de diferentes áreas estamos também oferecendo suporte aos aspectos técnicos de uma atividade de composição. O

aperfeiçoamento pode ser alcançado através da interação de especialistas em uma área específica. Como resultado dessa interação, buscamos desenvolver serviços que possam apoiar atividades em experimentos científicos.

Neste trabalho, utilizamos um método de detecção de grupos para identificar comunidades de pesquisa na rede social científica brasileira. Esta identificação permite apoiar a composição e reutilização de serviços em uma plataforma de ECOSC. A estratégia de dados de abstração permite analisar a rede social em diferentes perspectivas: (i) nível de cooperação entre instituições; (ii) relacionamentos fortes e fracos; (iii) pesquisadores que desempenham um papel centralizador na rede social, e assim por diante. Como resultado, nosso objetivo foi apoiar a composição de serviços na plataforma SECO com a adição de elementos de colaboração associados à dimensão social em um ECOS.

Não foram encontrados na literatura trabalhos que consideram a análise de relações múltiplas, nem com a representação evolutiva da rede, quando existe foco na análise de redes sociais científicas. Assim, a solução proposta representa uma contribuição na medida em que ela apoia o desenvolvimento de serviços através da identificação de *stakeholders* que possam auxiliar na composição de serviços em uma plataforma de ECOSC. Ao mesmo tempo, esta solução considera aspectos técnicos (reutilização, interoperabilidade, dependência funcional, entre outros) que podem influenciar na decisão sobre esta composição.

Como trabalhos futuros, cabe explorar a análise de redes sociais científicas, em profundidade, considerando um contexto real de desenvolvimento de software científico. Também pretendemos investigar a extensão na qual o apoio de outros aspectos sociais poderia melhorar o processo de desenvolvimento de software na plataforma do ecossistema, tais como, reputação e confiança.

Agradecimentos

Aos participantes do Núcleo de Pesquisa em Engenharia do Conhecimento (NEnC). Este projeto é parcialmente financiado pela CAPES, CNPq e FAPEMIG. Phillipe Marques é apoiado pela CAPES.

Referências

- Arakaki, M.; Martins, G.; David, J. M.; Braga, R.; Campos, F. and Neiva, F. “Um Processo para o Desenvolvimento de Serviços de Colaboração em um Ecossistema de Software Científico”. 13º Simpósio Brasileiro de Sistemas Colaborativos. 1522–1535. 2016.
- Autili, M., Tivoli, M. and Goldman, A. “Thematic series on service composition for the future internet”. *Journal of Internet Services and Applications* 7, no. 1. 1-4. 2016.
- Campbell, P. R. and Ahmed, F. “A three-dimensional view of software ecosystems”. In *Proceedings of the Fourth European Conference on Software Architecture: Companion Volume*. ACM. 81-84. 2010.
- Chen F.; Lu C.; Wu H.; and Li M. “A semantic similarity measure integrating multiple conceptual relationships for web service discovery”. *Expert Systems with Applications*. 19-31. 2017.

- Cheney, J., Finkelstein, A., Ludäscher, B., and Vansummeren, S. “Principles of provenance (dagstuhl seminar 12091)”. In: *Dagstuhl Reports* (Vol. 2, No. 2). Schloss Dagstuhl-Leibniz-Zentrum fuer Informatik. 2012.
- Edmonds, J.; Karp, R. M. “Theoretical improvements in algorithmic efficiency for network flow problems”. *Journal of the ACM (JACM)*, v. 19, n. 2. 248-264. 1972.
- Evans, T. S.; Lambiotte, R., Panzarasa, P. “Community structure and patterns of scientific collaboration in business and management”. *Scientometrics*.381-396. 2011.
- Freitas, V.; David, J. M. N.; Braga, R. and Campos, F. “Uma Arquitetura para Ecosystema de Software Científico”. *WDES*. 41- 48. 2015.
- Manikas, K. “Revisiting software ecosystems research: A longitudinal literature study”. *Journal of Systems and Software* 117. 84-103. 2016.
- Marin, Marius, Van Deursen, A. and Moonen, L. "Identifying aspects using fan-in analysis." *Reverse Engineering. Proceedings. 11th Working Conference on. IEEE*. 132-141. 2004.
- Mier, P. R.; Pedrinaci, C.; Lama, M. and Mucientes M. “An integrated semantic Web service discovery and composition framework”. *IEEE Transactions on Services Computing*. 2015.
- Neiva, F. W.; David, J. M. N.; Braga, R.; Campos F. and Freitas, V. “PRIME: Pragmatic interoperability architecture to support collaborative development of scientific workflows”. In *IX SBCARS*. 50-59. 2015.
- Newman, M. E. J. “Co-authorship networks and patterns of scientific collaboration”. In *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101: 5200-5205. 2004.
- Pokraev, S. V. “Model-driven semantic integration of service-oriented applications”. *Tese de Doutorado. Novay*. 2009.
- Sadi, M. H., and Yu, E. “Analyzing the evolution of software development: from creative chaos to software ecosystems”. *Research Challenges in Information Science (RCIS), 2014 IEEE Eighth International Conference on*. 2014.
- Ströele, V.; Campos, F.; David, J. M. N., Braga, R; Abdalla, A.; Lancellotta, P. I.; Zimbrão, G.; Souza, J. “Data Abstraction and Centrality Measures to Scientific Social Network Analysis”. *21st International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design*. 2017.
- Santos, R. P. and Werner, C. M. L. “Treating social dimension in software ecosystems through reuseecos approach”. In *Digital Ecosystems Technologies (DEST), 6th IEEE International Conference on*. 1-6. 2012.
- Santos, R. P.; Esteves, M. G. P.; Freitas, G. D. S. and de Souza, J. M. “Using Social Networks to Support Software Ecosystems Comprehension and Evolution”. *Social Networking*, 2014.
- Sirqueira, T. F. M.; Dalpra, H. L. O.; Braga, R.; Araújo, M. A. P.; David, J. M. N.; Campos, F. “E-SECO ProVersion: An Approach for Scientific Workflows Maintenance and Evolution”. *Procedia Computer Science*. 547-556. 2016.
- Wasserman, S. and K. Faust. “*Social Network Analysis: Methods and Applications*”. Cambridge, UK: Cambridge University Press. 1994.

Context-SE: Conceptual Framework to Analyse Context and Provenance in Scientific Experiments

Lenita M. Ambrósio¹, José Maria N. David¹, Regina Braga¹, Fernanda Campos¹,
Victor Ströele¹, Marco Antônio Araújo¹

¹Postgraduate Program in Computer Science
Department of Computer Science
Federal University of Juiz de Fora (UFJF)
Juiz de Fora, MG – Brazil

{lenita.martins, marco.araujo, victor.stroele}@ice.ufjf.br,
{jose.david, regina.braga, fernanda.campos}@ufjf.edu.br

Abstract. *Managing contextual and provenance information plays a key role in the scientific domain. Activities which are carried out in this domain are often collaborative and distributed. Thus, aiming to examine and audit results already obtained, researchers need to be aware of the actions taken by other members of the group. Contextual and provenance information are essential to enhance the reproducibility and reuse of experiment. The goal of this work is to present a conceptual framework that provides guidelines capable of supporting the modeling of provenance and context in a software ecosystem platform to support scientific experimentation. Preliminary results are also presented when the proposed solution is used to design software ecosystem platform components.*

1. Introduction

In scientific experimentation domain, a strong computational tendency has arisen the possibility of sophisticated simulations of complex phenomena. The collection and analysis of a large amount of data is now possible using computational resources. This possibility has enabled new ways of doing science. Science is progressively evolving into e-Science – which unifies theory, experiments and simulation, while dealing with a huge amount of information [Hey et al., 2009].

Scientific experiments can now be simulated by supercomputers, through computational tools like Scientific Workflow Management Systems (SWMSs) (for example: Kepler¹, Taverna² and VisTrails³ that model and execute series of operations through scientific workflows. These tools involve steps of data analysis from various sources and large-scale computing, and require collaboration between geographically distributed scientists [Deelman et al., 2009]. In addition, the experiments undergo changes and evolve over time. As new results emerge, research follows new paths. As a result, planning, modification or adaptation of the form of execution are required, or even new external resources, such as a web service or pre / post processing sub-workflows, are needed [Sirqueira et al., 2016].

¹<https://kepler-project.org>

²<http://www.taverna.org.uk>

³<https://www.vistrails.org>

Other important aspects are related to the social and organizational dimensions that affect the conduction of the experiments. Often, knowledge about how the experiments are performed is tacit and remains with the involved researchers. Storing and retrieving this knowledge may be critical to the activities of an experiment succeed. To that end, supporting collaborative aspects, especially of larger experiments, may contribute to the verification, reproducibility and reuse of scientific experiments [Mayer et al., 2014].

Considering the previous challenges, information about the context and provenance of scientific experiments plays a key role. Provenance information describes the origin, derivation, ownership, and history of the data [Lim et al., 2010]. Context is a complex description of shared knowledge about physical, social, historical or other circumstances within which an action or an event occurs [Rittenbruch, 2002]. In scientific experimentation domain, we consider provenance information as a kind of contextual element that describes information in the past. Thus, they are fundamental so that researchers can understand, reproduce, examine and audit the results previously obtained by the experiments, as well as reuse the experiment or parts of them.

The management of provenance from scientific experiments has been widely discussed in scientific community [Simmhan et al., 2005, Davidson and Freire, 2008, Lim et al., 2010]. ProvSearch [Costa et al., 2014] and PBase [Cuevas-Vicentín et al., 2014] approaches, for example, allow the management of provenance information in scientific experiments. However, in each of these approaches, source information may be only available at a specific level of abstraction, which may or may not be appropriate for the type of analysis required [Missier, 2016].

On the other hand, the use of contextual information in scientific experimentation is still a incipient topic. Brézillon [2011] presents a contextual approach to support researchers to find the correct scientific workflows in the repository. Mayer et al. [2014] present a model based on ontologies to describe the scientific experiments facilitating their reuse and reproducibility. While recognizing the importance of addressing contextual information in e-Science domain, these researches do not provide generic guidelines capable of supporting provenance and context management in a collaborative and distributed experimentation environment, such as scientific software ecosystem platforms. When we consider these platforms a set of variables need to be related and analyzed. Manikas [2016] define a software ecosystem as the software and actor interaction in relation to a common technological infrastructure, that results in a set of contributions and influences directly or indirectly the ecosystem. The activity of each actor is motivated by value creation both towards the actor and the ecosystem.

In addition, Brézillon [2011] and Mayer et al. [2014] handle context and source information in isolation. They do not associate the source information with those obtained through the contextual elements that support the collaborative activities. In our research, a software ecosystem can be considered as a set of actors who collaborate and interact with a common market by focusing on software and services, along with the relationships between these actors. These relationships are often underpinned by a common technological platform which operates through the exchange of information, resources and artifacts.

This article aims to propose a conceptual framework to support the analysis of contextual information and provenance of scientific experiments, assisting in verification,

reproduction and reuse of scientific experiments. In addition, as a secondary objective we aimed to present a correlation between the context framework for knowledge processing in group work proposed by Brézillon et al. [2004] with the provenance life cycle framework proposed by Missier [2016]. Through these frameworks, we expect to better identify what activities are needed for context and provenance management support.

To achieve this goal, a conceptual framework for context analysis in collaborative systems proposed by Rosa et al. [2003] was extended considering the particularities of the field of scientific experimentation. The resulting framework aims to provide guidelines for the management of contextual elements and provenance information from experiments.

The contributions of this work includes (i) the analysis of key stages in the life cycle of contextual information and provenance management, and (ii) the specification of a conceptual framework for the analysis of the context in applications designed for scientific experiments management, named Context-SE. An example of instantiation of the framework is presented considering an ecosystem platform for scientific experimentation.

This article is organized as follows. The next section presents a background including the concepts about context and provenance. Section 3 describes the related work. Section 4 presents the approach proposed in this paper. Section 5 exemplifies the use of the proposed framework. Finally, Section 6 concludes this work and presents future work.

2. Background

Scientific experiment is characterized by a series of interrelated analysis operations, which are modeled and executed through scientific workflows [Goble et al., 2010]. A scientific workflow is a model, or template, composed of services, scripts or other workflows. It represents a sequence of scientific activities implemented by tools to reach a certain goal [Deelman et al., 2009]. Aiming to support researchers during the modeling and execution of scientific workflows, Scientific Workflow Management Systems (SWMSs) have emerged. SWMSs explicitly model the dependency between processes within an experiment and coordinate the behavior of processes at run-time [Belloum et al., 2011].

Considering the current scenario of scientific experimentation and the increasing use of large-scale applications, the management of experimental data is becoming increasingly complex. Metadata describing the data products used and generated by such applications are essential to disambiguate the data and enable its reuse and reproducibility.

Context is a broad concept and applicable in many areas, so it has many definitions relative to the area of knowledge to which it belongs [Bazire and Brézillon, 2005]. . Aimed to fully understand many activities or events which are accomplished, it is necessary to have access to relevant contextual information. Another definition for this concept in context sensitive applications domain is that context is any information that characterizes a situation related to the interaction between humans, applications and the surrounding environment Dey et al. [2001].

Context in a work process has a dynamic nature, where new events arise and new decisions are made. Thus, an organization that does not associate context information to the activities it performs and artifacts it generates has in its organizational memory an huge set of documents with little or no connection between them. Since this memory has no associated context, it is often ignored as an information resource [Nunes et al., 2007].

Considering that the explicit representation of the context, in several dimensions, such as: individual, task and team, brings benefits to support the interaction between group members, Brézillon et al. [2004] proposed a framework containing mechanisms associated to the explicit context representation in collaborative systems. This framework is not domain specific, and provides a representation of the context and awareness aiming to promote an adequate treatment of these concepts when developing collaborative systems used in different domains. It encompasses the following phases: **Generation, Capture, Storage, Awareness, Visualization and Interpretation**. These phases do not necessarily occur in this order, and together they form a cycle of transformation of the context data into knowledge.

Simmhan et al. [2005] define data provenance as a type of metadata that brings the derivation history of a data artifact from its sources. In scientific experimentation, metadata about the history of derivation of data is essential to ensure the reuse of results obtained through the execution of scientific workflows. In addition, the provenance provides greater understanding and verification of the accuracy and timeliness of the data. In this way, provenance management has been considered a key point in the architecture of SWMSs, and widely recognized in the scientific community. In this context, Lim et al. [2010] consider two types of provenance: a) Prospective, which refers to an abstract workflow specification as a recipe for future derivations of the data; and b) Retrospective, which is related to the capture of information on the execution of workflows and on data derivations.

Currently, the main provenance model is PROV⁴, which is the default model recommended by the W3C. PROV defines a model, corresponding serializations and other supporting definitions to enable the interoperable interchange of provenance information in heterogeneous environments such as the Web. The PROV makes it possible to represent knowledge about provenance centered on processes, entities or agents. This model consists of a family of twelve documents. Among these, the PROV-O is the most important for our work. This document describes an ontology which expresses the PROV data model (PROV-DM) using OWL2⁵. In data provenance domain, ontologies express precisely the concepts and relationships and provide contextual information.

In order to express specific ontological rules related to the context of scientific workflows, Cuevas-Vicentín et al. [2014] extended the PROV model and created the ProvONE⁶. This ontology describes the structure of the experimentation process together with its data dependencies, which originate from the execution of the process, covering both prospective and retrospective provenance.

Based on the PROV standard, Missier [2016] proposes the provenance life cycle framework. In this model, the main phases of the provenance life-cycle are: **Capture, Store, Query, Sharing, Preserve association to data, Visualize and Analyze**. These phases occur sequentially to treat the raw data which will produce information that facilitates the analysis by the user. It does not consider collaborative and distributed issues in

⁴<https://www.w3.org/TR/prov-overview/>

⁵OWL is a language for defining and instantiating ontologies

⁶Updated in 2016: <http://jenkins-1.dataone.org/jenkins/view/Documentation%20Projects/job/ProvONE-Documentation-trunk/ws/provenance/ProvONE/v1/provone.html>

this framework, so this model alone is not able to model all phases of provenance in a software ecosystem platform.

3. Related Work

ProvSearch [Costa et al., 2014] proposes a provenance management architecture for experiments in distributed environments. It combines distributed workflow management techniques with distributed provenance data management. It also allows provenance data to be captured, stored and queried at run-time. In this architecture, data is fragmented into multiple repositories of provenance in the cloud and can be accessed by different SWMSs. The provenance data is treated using a standard model called PROV-Wf, an extension of the PROV model for the domain of scientific workflows. However, this approach does not have a solution for data visualization, and is not capable of extracting implicit provenance information.

The PBase [Cuevas-Vicentín et al., 2014] is a scientific workflow provenance repository that enable scientists to use provenance for the discovery of experiments, programs, and data of interest. This approach supports declarative graph queries and keyword-based graph searching, complemented with ranking capabilities taking into consideration authority and quality of service criteria. It uses the ProvONE model, treating provenance information in a standardized and interoperable way. In addition, this approach has query and visualization capabilities making exploration of this repository easier. Despite using ProvONE, PBase does not use the ontology of this model to make inferences. In this way, this approach does not provide the extraction of implicit information in the captured data.

Brézillon [2011] presents an approach to support researchers in the reuse of scientific workflows. The context is explained through Contextual Charts (CxGs), which are formalisms to represent uniformly all the components of a collaborative process of scientific workflow design. According to the author, scientific workflow repositories contain workflows successfully applied in specific contexts. Thus, no workflow can be reused directly, because a new experiment involves a new context. This approach helps researchers to find a workflow through a long process of contextualization (identifying the published workflow that has a context close to the desired one). In addition, it supports the decontextualization, which extracts the part of the workflow that can be reused in a relatively generic way, and the recontextualization, which develops workflow instances adapted to new contexts.

TIMBUS [Mayer et al., 2014] is a context model for the description of scientific experiments. It focuses specifically on the technical infrastructure used as the basis for the experiment. This model was based on the digital preservation of processes, whose objective is to allow the redistribution (re-staging) of a process when the technical environment has changed. Its main objective is the preservation of the processes, the architectural principles and the core ontologies and the extension of the experiment, thus allowing the reuse and reproducibility of the experiments.

As aforementioned, there are already some approaches that deal with provenance or context management in scientific experiments. However, these approaches deal with contextual or provenance information in isolation, not contemplating both concepts in a process of experimentation. In addition, these solutions address specific problems, and

thus do not provide generic guidelines capable of supporting development activities for the scientific experimentation process on a software ecosystem platform.

4. The Context-SE Framework

To introduce the conceptual framework of provenance and context in the scientific experimentation domain, the correlations between the phases of the context and provenance life cycle proposed by Brézillon [2011] and Missier [2016], respectively, will be presented. This correlation is important to establish a model that contemplates both the context and the provenance for the development of collaborative systems in a scientific software ecosystem platform.

4.1. Context and provenance in collaborative systems

Context management is a key activity for collaborative activities. The result of the individual work needs to be known to the group participants, otherwise there will be no real joint work, but an incoherent set of isolated activities. In this way, working in a group assumes explicitly managing the context. For the development of collaborative systems, there are several dimensions of contexts in different granularities that need to be considered, such as: the context of the group (e.g. why this group is constituted), the individual contexts of the members (e.g. their origins and known techniques) and the context of the project (e.g., which products to build) [Brézillon et al., 2004].

However, it is not enough to capture data from contextual elements, these data need to be transformed into useful knowledge to the participants of the group. As aforementioned, Brézillon et al. [2004] proposed a framework based on contextual elements for the processing of knowledge in group work. According to the authors, this framework supports the transformation of contextual elements into some functional knowledge. This framework considers different context dimensions, in a cycle that involves several steps, from the data generation to its interpretation by the participants of the group.

As well as contextual information, provenance information has a diversity of application areas. They are intended to describe the steps needed to manage provenance in a generic and domain-free way. To deal with provenance Missier [2016] proposed a framework for the provenance life cycle. This framework illustrates the main phases of a source document until it can be viewed or analyzed.

Considering the provenance as a type of context, we can consider that these two frameworks have similar phases. However, Missier [2016] does not address collaboration issues during the provenance life cycle. To find a model capable of handling both context and provenance in a collaborative and distributed work environment, such as a software ecosystem platform, we established a correlation between the phases of these two frameworks. Next, we describe each of the contextual framework phases proposed by [Brézillon, 2011] and its correspondence with the provenance framework proposed by [Missier, 2016].

Generation: This phase considers that a member contributes to some content to the group. It is considered a user's task, so information about the individual context of this user is collected at this moment. In the provenance model, this phase corresponds to the **Capture** phase, also called **Production**. It consists of observing the execution of a data transformation process, including human-made or partially automated processes.

Capture: This step consists of procedures to collect some physical data from the generation stage. Thus, this step is performed by the system through sensors. The provenance framework does not separate this step from the previous one, thus, both the information generated by the user and those captured by sensors are treated in the **Capture** phase.

Storage: It consists of storing information from the generation phase, according to pre-established conditions. The model of Missier [2016] has also a phase, called **Store**, for the same purpose, however, in this model the information coming from sensors are also stored.

Awareness: This is the phase in which the data collected in the previous steps are processed to be provided to the other participants of the group. In this process the data is transformed, in a summarized or filtered way, aiming to facilitate its interpretation. In the provenance model, this step corresponds to two different steps, such as: **Query** and **Sharing**.

Visualization: At this stage, the information is arranged in the user interface, providing a physical representation of the processed knowledge. The provenance framework also includes a stage, called **Visualize**, for this purpose.

Interpretation: This is a human processing step. It occurs when, the user assimilates the information presented as knowledge, from the information displayed and its individual context. This knowledge is important to generate new contributions, and thus to close the processing cycle of the context. In the provenance framework, this step can be related to the **Analyze** step which encompasses all forms of consumption and exploitation of provenance data that have been captured and made available through data engineering solutions.

Preserve association to data: Besides the previous mentioned phases, the provenance model of Missier [2016] also has this phase that has no correspondence in the context model. However, this is an important phase so that source information is not lost from the original data to which it belongs.

4.2. Framework Overview

The contextual elements in some situations are unstable and unpredictable, which has a negative influence on the identification and the representation of the contextual elements related to group interactions. In order to reduce this impact, Rosa et al. [2003] proposes the use of a conceptual framework aimed to identify and classify the contextual elements most common in groupware tools.

In order to support the selection of relevant contextual information in a collaborative environment of scientific experimentation, we propose a conceptual framework to identify and classify the most common contextual elements in this domain. The objective of the framework is to provide guidelines for the development of collaborative systems considering the context focusing on scientific experimentation in software ecosystem platforms.

For this purpose, we extend the conceptual framework proposed by Rosa et al. [2003]. In this framework contextual information is grouped into five main categories: (i) information about scientists and groups, (ii) information about scheduled tasks, (iii) in-

formation about the relationship between scientists and tasks, (iv) information about the environment where Interaction occurs (v) information about tasks and activities already completed. In synchronous environments, group members need to work simultaneously, but in asynchronous environments, there may be a time lag between interactions. The needs of each type of environment are different, so this framework analyzes these situations accordingly.

For each category, context aspects and the provenance of data in the field of scientific experimentation that influence collaborative activities were identified. These new elements were based on information found in scientific platforms such as Lattes⁷ and ResearchGate⁸, and mainly based on the Prov-SE-O ontology [Ambrósio et al., 2017]. This ontology is an extension of the ProvONE ontology [Cuevas-Vicenttín et al., 2014]. Figure 1 presents the conceptual model of the ontology, highlighting the classes which represent the implemented extension.

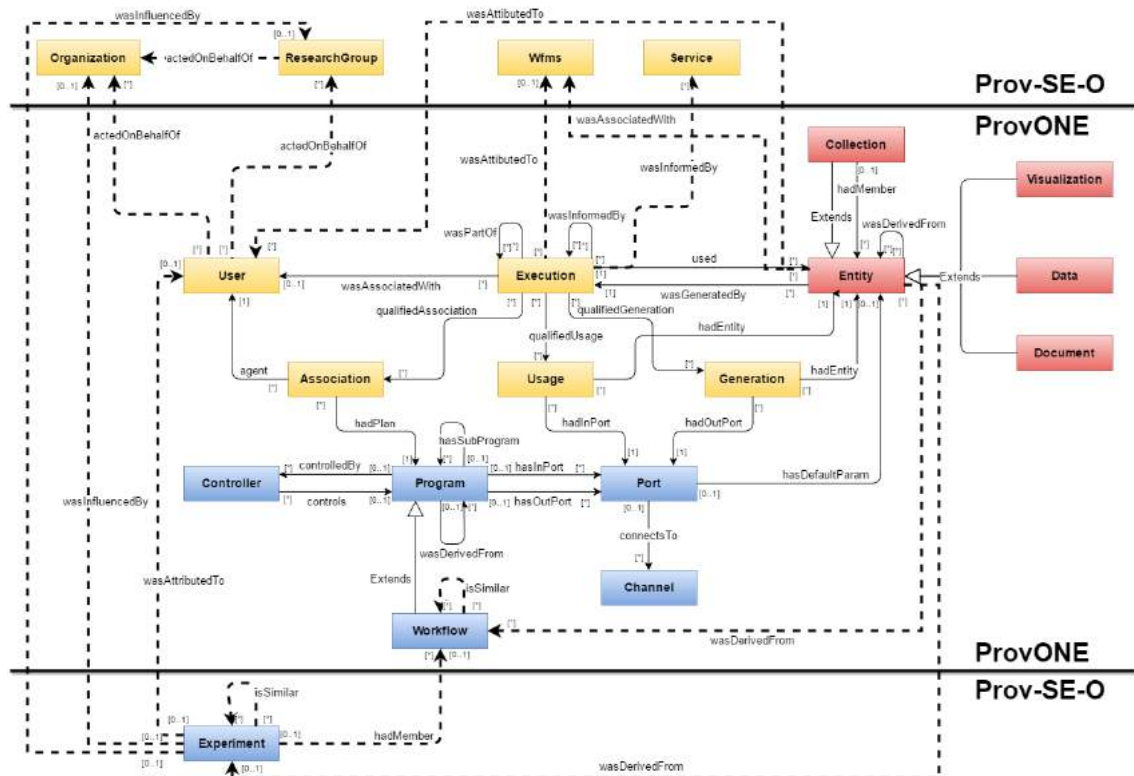


Figure 1. Conceptual model of the Prov-SE-O [Ambrósio et al., 2017]

Prov-SE-O ontology includes new classes, properties and rules in SWRL (Semantic Web Rule Language) [Horrocks et al., 2004]. Thus, it was possible to model not only the workflows, but also scientific experiments. Moreover, we can capture information related to its distributed nature and to support collaboration activities between different agents. Through this ontology, data provenance and context, relevant to the scientific experimentation domain are presented in a standardized way and, at the same time, are capable of being interoperable according to the service to support interoperability avail-

⁷<http://lattes.cnpq.br/>

⁸<https://www.researchgate.net/>

able on the platform. In addition, inference of implicit new knowledge can be performed.

Table 1 presents the five context categories modeled by the Context-SE framework and its goals, as well as the associated contextual elements that may influence the group's scientific experimentation activities. The highlighted elements represent the points where the framework was extended.

The first category refers to information about group members. This is information about researchers and research groups to which they belong. The second category concerns information about scheduled tasks. In scientific experimentation domain it is related to the planning of the experiment and is characterized by the tasks to be performed by the group until the conclusion of the experiment.

The third category concerns the relationship between group members and scheduled tasks. It relates each researcher or research group to the interactions in which they are involved. This category is divided into two types of contexts: interaction context (information representing the actions that occurred during the execution of the experiment) and the planning context (information about the project execution plan).

The fourth category brings together information about the environment. It covers both organizational issues and the technological environment, that is, all information outside the experiment, but within the organization that can affect the way the tasks are performed. Finally, the fifth category gathers all the information about the completed tasks. Its purpose is to provide basic information about the lessons learned, whether from the same group or from similar tasks carried out by other groups. It should therefore include all contextual and provenance information about previous experiments.

5. Context-SE in Action

Aimed at verifying the applicability of this framework, specifically in the domain of scientific software ecosystems platforms, we decided to analyze the E-SECO platform considering the presented conceptual framework.

5.1. E-SECO Platform

This section describes E-SECO (E-science Software ECOsystem) platform [Freitas et al., 2015] a web-based software ecosystem designed to support researchers' activities during the overall scientific workflow life cycle. The key modules of this platform have already been developed and evaluated in e-Science domain, and are illustrated in Figure 2. During the development process of the collaborative services which support E-SECO activities we have identified the need to enhance this process. So, we consider that it represents an interesting opportunity to enhance the development of services through the proposed framework.

E-SECO Development Environment is a web component where E-SECO code is available, as open source⁹. As a result, the developer community can contribute through software maintenance and evolution. E-SECO relies on a Peer-to-Peer network where different E-SECO nodes can communicate. The ecosystem is made up of artifacts provided by different nodes situated in different institutions, APIs that help the scientific workflow development in its different steps and the open source development environment.

⁹<http://pgcc.github.io/plscience/>

Information Type	Associated Contexts	Goals	Examples of contextual elements	
Group Members	Individual (Synchronous & Asynchronous)	To identify the participants through the representation of their personal data and profiles.	<ul style="list-style-type: none"> • Name • Qualifications • Interests • Degree • Previous Experience • Location • Working hours • Web page 	<ul style="list-style-type: none"> • Institution • Position (profession) • E-mail • Awards • Skills • Languages • Publications • Research field
	Group (Synchronous & Asynchronous)	To identify the group through the representation of its characteristics.	<ul style="list-style-type: none"> • Name • Members • Roles • Abilities • Previous Experience • Geographical Location 	<ul style="list-style-type: none"> • Organization Structure • Working hours • Institution • Web page • E-mail • Partners
Scheduled Tasks or Experiment Plan	Experiment (Synchronous & Asynchronous)	To identify the experiments through the representation of its characteristics.	<ul style="list-style-type: none"> • Name • Description • Goals • Deadlines • Estimated effort • Tasks • Restrictions • Workflow <ul style="list-style-type: none"> ○ Title ○ Version ○ SWMS 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Description ○ Tasks • Similar workflows • History <ul style="list-style-type: none"> ○ Evolution To ○ Evolution Of • Problem Investigation ○ Literature Review ○ Related Experiments • Group in-charge • Similar experiments
Relationship between people and tasks or Experiment Execution	Interaction (Synchronous)	To represent in detail the tasks performed during the experiment completing.	<ul style="list-style-type: none"> • Group in-charge • Messages exchanged • Presence Awareness • Gesture awareness • Tasks completed ○ Author 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Goal ○ Report ○ Name • Input • Output • Used services
	Interaction (Asynchronous)	To represent an overview of the tasks performed during the experiment completing.	<ul style="list-style-type: none"> • Group in-charge • Artifacts generated <ul style="list-style-type: none"> ○ Versions ○ Timestamp ○ Name • Tasks completed 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Author ○ Goal ○ Report • Input • Output • Used services
	Planning (Synchronous & Asynchronous)	To represent the Execution Plan of the task to be performed.	<ul style="list-style-type: none"> • Roles in the interaction • Rules • Aim • Responsibilities 	<ul style="list-style-type: none"> • Strategies • Coordination Procedures • Working Plan <ul style="list-style-type: none"> ○ Task Name
Setting	Environment (Synchronous & Asynchronous)	To represent the Environment where the interaction occurs; i.e., characteristics that influence task execution.	<ul style="list-style-type: none"> • Quality patterns • Rules • Policies • Institutional deadlines • Organizational structure • Cultural features 	<ul style="list-style-type: none"> • Financial constraints • Standard procedures • Standard strategies • Communication Tool • SWMS • Geographical Location
Completed Task and Provenance	Historical (Synchronous & Asynchronous)	To provide understanding about tasks completed in the past and their associated contexts.	<ul style="list-style-type: none"> • Tasks <ul style="list-style-type: none"> ○ Task Name ○ Group in-charge ○ Goal ○ Justification ○ Date • Versions of the artifacts • Working Plan 	<ul style="list-style-type: none"> • Contextual elements used to carry out the task • Task Goals • Input • Output • Used services • SubTasks

Table 1. Context-SE: Conceptual Framework to Analyse Context and Provenance in Scientific Experiments (extended from Rosa et al. [2003])

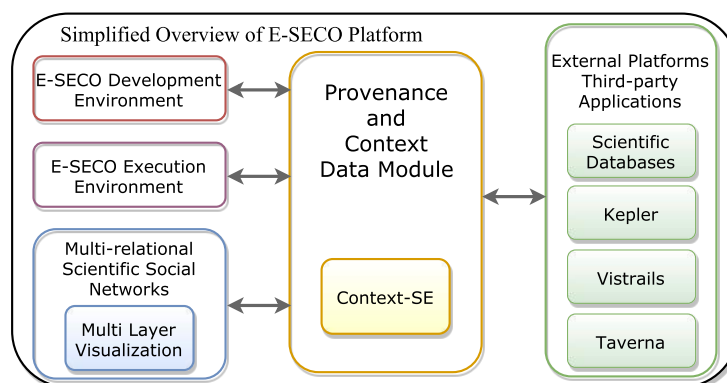


Figure 2. Overview of E-SECO Platform

The visualization module of E-SECO platform, named *Multi-Layer Visualization*, supports the extraction and analysis of the relationships that are established in scientific social networks. Due to space restrictions, E-SECO platform is not discussed in depth. A detailed presentation of this platform was done by Freitas et al. [2015], Sirqueira et al. [2016] and Pereira et al. [2016].

Moreover, E-SECO platform is a collaborative environment to support the development and execution of scientific workflows. It supports systematic literature review processes and it has a repository of existing reports and publications on experiments that are made available to the researcher. In addition, it provides the analysis of data provenance during the execution of workflows in a *Provenance Data Module*.

5.2. Context-SE in E-SECO Platform

Considering the characteristics of the frameworks of context and provenance, analyzed in Section 4.2, we can state that they can be applied in the E-SECO platform. At each stage of the scientific experiment life cycle, the contextual and provenance information may be of differentiated importance. However, by space constraint, it is not on the scope of this paper to analyze the effects of using the solution in specific steps of the life cycle. The ways in which the dimensions of the frameworks are contemplated in the E-SECO platform are discussed below.

Generation of data occurs through the user interface, through which the researcher can record information about their profile, group profile or experiment. Data is also acquired through the **Capture** step, implemented by web services run by SWMSs. These services send experiment data to the platform. The E-SECO platform also has a distributed database, implemented in a peer-to-peer network, which is responsible for the **Store's** data. **Awareness** support occurs through the Prov-SE-O ontology, which uses inference mechanisms to make explicit new knowledge about the context and provenance of scientific experiments. **Visualization** is based on the user interface and through a graph visualization tool that follows the conventions of the Prov model. **Interpretation** can be done by the user with the support of the inferences made by the ontology, and the visualizations provided by the platform.

Next, some of the contextual elements identified by the conceptual framework, which are available in this platform, are presented. In addition, the ways in which these

elements assist the researcher in the collaborative process of scientific experimentation are described.

Group Members: The register of researchers allows that information such as, name, e-mail, institution, role, skills, and a description of their interests to be made available, as shown in Figure 3(a). Regarding research groups, information such as name, description and responsible researcher, shown in Figure 3(b), is provided. This information helps researchers identify who is involved in an experiment. Thus, researchers can be contacted to collaborate on an experiment or, for example, credits can be given to them, in case of reuse of some artifact.

(a) User register

(b) Group register

Figure 3. E-SECO GUI - Member and group registration

Scheduled Tasks: The scheduling of tasks, which in E-SECO corresponds to the planning of the experiment, is done in several steps. First, the register of the experiment is carried out, including information such as: name, expected initial and final dates, version, institution and its description, as shown in Figure 4(a). Next, the workflows involved in the experiment, shown in Figure 4(b), are registered with information such as name, description, version, number of steps, link for download, and the SWMS that will be used. Finally, the tasks planned for each workflow, its name, type and description are registered. In addition, at this stage the system searches for related experiments, and allows the researcher to carry out systematic literature review. This information is important for the experiment to be reproducible in a new context.

Relationship between people and tasks: During the execution of the workflow, a web service is able to capture the information as, the inputs and outputs of each task, the final result, the errors occurred during its execution, as well as the responsible user. In addition, information about exchanged messages and interactions between researchers through the platform is recorded. This information allows credits to be given to the authors, and that they are held responsible or questioned for any errors that occurred during its execution.

Setting: The system allows the identification of SWMS and external services used in the experiment. However, the capture of information about the experimentation environment on the platform is in an initial stage. To tackle this issue, new services,

(a) Experiment register

Name:	Protein Identification
Description:	An experiment to identify prc
Entity:	UFJF
Activity:	Manager Proteins
Version:	01.00
Started:	11/11/16
Ended:	12/11/16

(b) Workflow register

Name:	Search identifier
Description:	A workflow for the search th
Version:	00.00.01
Date Version:	11/11/16
Number Stages:	1
Link:	
SGWFC:	Kepler
Archive of Workflow:	+ Search... + Upload + Cancel

Figure 4. E-SECO GUI - Member and group registration

or sensors, are necessary to capture this contextual information automatically. They are also necessary for the reproducibility of the experiment to succeed, or for checking the correctness of the results obtained.

Completed Task and Provenance: E-SECO allows to store not only information about the experiments, workflows and tasks performed, but the provenance data of the experiments. Thus, it is possible to identify all the processes of a document, until the end of the experiment, as well as to recognize the workflow and the experiment that gave rise to this document, and the researchers involved. In addition, information based on the Prov-SE-O ontology is stored, such as: the inputs and outputs, similar experiments, or those that were derivatives. The ontology also allows inferences of implicit information to be made on the data origin. This information is essential to ensure the comprehension of this data by researchers as well as the experiment reuse.

Analyzing the E-SECO platform, and considering the proposed conceptual framework, we realize that contextual and provenance information of this framework can be applied in collaborative and distributed platforms of scientific experimentation. Moreover, this information is valuable in order to support the verification, reproducibility and reuse of scientific experiments. It is important to highlight that this platform does not yet have all the elements proposed by the framework, but it is our interest to develop all of them. However, even considering that the proposed solution is based on existing frameworks, and previously evaluated, it is fundamental to carry out additional evaluations. In all these evaluations, we should evaluate the extent in which reproducibility and reuse of scientific experiments are potentialized.

6. Final Considerations

This work presented an analysis of context and provenance frameworks with their specificities in the domain of scientific experimentation. As a result, a conceptual framework was proposed with the aimed at supporting the analysis of context and provenance of data in scientific experiments. This solution also aims to provide guidelines for the modeling of this information in collaborative and distributed scientific experimentation environments. E-SECO platform of scientific experimentation was analyzed from the perspective of the proposed framework. Thus, we could verify the applicability of the solution in the e-

Science domain, and obtain some evidence that the modeled information supports the verification, reproducibility and reuse of scientific experiments. The proposed framework is a first step towards the understanding of the way in which contextual and provenance information can be presented in platforms of scientific software ecosystems.

Regarding the limitations of this research, we can highlight that this framework is still a prototype and some elements still need to be reviewed and improved. As future work, it is important to conduct more complete experimental studies. From these experiments we must evaluate not only the completeness of the proposed solution in a real context of use, but the way in which this framework supported the reproducibility and reuse of scientific experiments in software ecosystem platforms.

Acknowledgements

We would like to thank UFJF, CAPES, FAPEMIG and CNPq for their financial support and encouragement of research.

References

- Ambrósio, L. M., David, J. M. N., Braga, R., Ströele, V., Campos, F., and Araújo, M. A. (2017). Prov-SE-O: a provenance ontology to support scientists in scientific experimentation process. In *Proceedings of the International Workshop on Software Engineering for Science - International Conference on Software Engineering*. ACM.
- Bazire, M. and Brézillon, P. (2005). Understanding context before using it. In *International and Interdisciplinary Conference on Modeling and Using Context*, pages 29–40. Springer.
- Belloum, A., Inda, M. A., Vasunin, D., Korkhov, V., Zhao, Z., Rauwerda, H., Breit, T. M., Bubak, M., and Hertzberger, L. O. (2011). Collaborative e-science experiments and scientific workflows. *IEEE Internet Computing*, 15(4):39–47.
- Brézillon, P. (2011). Contextualization of scientific workflows. In *International and Interdisciplinary Conference on Modeling and Using Context*, pages 40–53. Springer.
- Brézillon, P., Borges, M. R., Pino, J. A., and Pomerol, J.-C. (2004). Context-based awareness in group work. In *FLAIRS Conference*, pages 575–580.
- Costa, F., Oliveira, D. d., and Mattoso, M. (2014). Towards an adaptive and distributed architecture for managing workflow provenance data. In *Proceedings of the 2014 IEEE 10th International Conference on e-Science*, pages 79–82.
- Cuevas-Vicentín, V., Kianmajd, P., Ludäscher, B., Missier, P., Chirigati, F., Wei, Y., Koop, D., and Dey, S. (2014). The pbase scientific workflow provenance repository. *International Journal of Digital Curation*, 9(2):28–38.
- Davidson, S. B. and Freire, J. (2008). Provenance and scientific workflows: Challenges and opportunities. In *Proceedings of the 2008 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data*, pages 1345–1350.
- Deelman, E., Gannon, D., Shields, M., and Taylor, I. (2009). Workflows and e-science: An overview of workflow system features and capabilities. *Future Gener. Comput. Syst.*, 25(5):528–540.

- Dey, A. K., Abowd, G. D., and Salber, D. (2001). A conceptual framework and a toolkit for supporting the rapid prototyping of context-aware applications. *Human-computer interaction*, 16(2):97–166.
- Freitas, V., David, J. M., Braga, R., and Campos, F. (2015). An architecture for scientific software ecosystem. In *9th Workshop on Distributed Software Development, Software Ecosystems and Systems-of-Systems (WDES 2015)*, pages 41–48. (in portuguese).
- Goble, C. A., Bhagat, J., Aleksejevs, S., Cruickshank, D., Michaelides, D., Newman, D., Borkum, M., Bechhofer, S., Roos, M., Li, P., et al. (2010). myexperiment: a repository and social network for the sharing of bioinformatics workflows. *Nucleic acids research*, 38(suppl 2):W677–W682.
- Hey, T., Tansley, S., Tolle, K. M., et al. (2009). *The fourth paradigm: data-intensive scientific discovery*, volume 1. Microsoft research Redmond, WA.
- Horrocks, I., Patel-Schneider, P. F., Boley, H., Tabet, S., Grosz, B., Dean, M., et al. (2004). Swrl: A semantic web rule language combining owl and ruleml. *W3C Member submission*, 21:79.
- Lim, C., Lu, S., Chebotko, A., and Fotouhi, F. (2010). Prospective and retrospective provenance collection in scientific workflow environments. In *Services Computing (SCC), 2010 IEEE International Conference on*, pages 449–456.
- Manikas, K. (2016). Revisiting software ecosystems research: A longitudinal literature study. *Journal of Systems and Software*, 117:84–103.
- Mayer, R., Miksa, T., and Rauber, A. (2014). Ontologies for describing the context of scientific experiment processes. In *e-Science (e-Science), 2014 IEEE 10th International Conference on*, volume 1, pages 153–160. IEEE.
- Missier, P. (2016). *The Lifecycle of Provenance Metadata and Its Associated Challenges and Opportunities*, pages 127–137. Springer International Publishing.
- Nunes, V. T., Santoro, F. M., and Borges, M. R. (2007). Um modelo para gestão de conhecimento baseado em contexto. *XXVII Simpósio Brasileiro de Sistemas Colaborativos (SBSC)*, pages 69–82.
- Pereira, A. F., Braga, R., Campos, F., et al. (2016). An architecture to enhance collaboration in scientific software product line. In *2016 49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)*, pages 338–347. IEEE.
- Rittenbruch, M. (2002). Atmosphere: a framework for contextual awareness. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 14(2):159–180.
- Rosa, M. G., Borges, M. R., and Santoro, F. M. (2003). A conceptual framework for analyzing the use of context in groupware. In *International Conference on Collaboration and Technology*, pages 300–313. Springer.
- Simmhan, Y. L., Plale, B., and Gannon, D. (2005). A survey of data provenance in e-science. *SIGMOD Rec.*, 34(3):31–36.
- Sirqueira, T. F., Dalpra, H. L., Braga, R., Araújo, M. A. P., David, J. M. N., and Campos, F. (2016). E-seco proversion: An approach for scientific workflows maintenance and evolution. *Procedia Computer Science*, 100:547–556.

Uma Análise de Confiabilidade em Pesquisas em Sistemas de Economia Colaborativa

Geanderson E. dos Santos, Raquel O. Prates

Departamento de Ciências da Computação (DCC)
Universidade Federal do Minas Gerais (UFMG) – Belo Horizonte – MG – Brasil

{geanderson, rprates}@dcc.ufmg.br

Abstract. *This paper describes an investigation on the literature about trust in shared economy systems. To do so, we have applied a Systematic Literature Review (SLR) in this context. The SLR was applied to the main digital library databases in computer science - ACM, IEEE, and ScienceDirect. Sharing economy is a new kind of economy that allows users to share a human or physical resource that they are able to supply to other people who are interested in that resource. This new kind of economy has become very popular in the last few years, and its main platforms are: Uber and Airbnb. The main goal of this SLR was to investigate how trust is being considered in shared economy systems, analyzing which aspects are being considered when discussing trust, what research methods, either qualitative or quantitative, have been applied to measure trust on these types of platforms. Based on our analysis we have proposed a framework to describe trust indicators, as well as discussed methods being used to investigate trust and values being exchanged.*

Resumo. *Este artigo descreve uma investigação na literatura de como confiabilidade tem sido tratada em sistemas de economia colaborativa. Para isso realizamos uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) no tema. A RSL foi aplicada nas principais bases da computação, i.e., ACM, IEEE e ScienceDirect. Economia colaborativa se refere a um novo modelo econômico em que pessoas compartilham um recurso humano ou físico que tenham disponível com outros interessados. Esse novo modelo vem se popularizando muito nos últimos anos com plataformas como o Uber e Airbnb. O objetivo principal dessa RSL era verificar como a confiança era definida e percebida neste tipo de plataforma, e quais os métodos de pesquisa qualitativa e/ou quantitativa vem sendo usados para medir confiança nesse contexto específico. Como resultado de nossa investigação propomos um modelo de confiabilidade que descreve indicadores usados para analisar confiança, discutimos os métodos utilizados em trabalhos no tema, e os valores sendo trocados entre os envolvidos.*

1. Introdução

A economia colaborativa, como foi originalmente definida por [Botsman and Rogers 2010], é baseada no excesso de bens de uma pessoa, uma massa crítica de participantes que queiram compartilhar esses bens, confiança entre desconhecidos, e o reconhecimento dos envolvidos no valor que este compartilhamento pode exercer na comunidade. Este novo movimento é caracterizado pelo compartilhamento de

recursos, como por exemplo, quartos livres em residências, deslocamentos em veículos de outras pessoas, objetos e bens disponíveis para que outros usem, e uma variedade de serviços [Lampinen et al. 2015, Oh and Moon 2016]. Os maiores representantes deste novo tipo de economia são as plataformas Uber¹ e Airbnb² [Pargman et al. 2016].

Apesar do enorme sucesso de tais plataformas no contexto atual, muitas preocupações têm surgido em comunidades que usufruem desses serviços, sobretudo, após incidentes envolvendo abusos sexuais, roubos, danos morais, e outros problemas decorrentes do uso de aplicativos dessa natureza [Ert et al. 2016, Pick 2012]. Para evitar esses problemas, plataformas de economia colaborativa têm implementado soluções que ajudem usuários a desenvolverem algum tipo de confiança em outros participantes [Fradkin et al. 2015, Bilgihan et al. 2015, Nunes and Correia 2013]. De uma forma geral, esses mecanismos de confiança consistem em tentar construir algum tipo de reputação [Sánchez et al. 2016, Lumeau et al. 2015], tanto para aqueles que estão requisitando o serviço (demandantes), quanto para os que estão oferecendo o serviço (ofertantes).

Com base nesse cenário e no interesse de pesquisadores em entender os mecanismos de confiança que esses aplicativos desenvolvem [Sánchez et al. 2016, Lumeau et al. 2015, Lee et al. 2015, Fradkin et al. 2015], nosso objetivo neste trabalho é investigar o que significa confiança no contexto de economia colaborativa. Embora vários trabalhos explorem a questão de confiança em sistemas específicos [Ert et al. 2016, Nunes and Correia 2013, Ma et al. 2017], não encontramos nenhum trabalho que faça uma análise aprofundada de como a confiança tem sido definida e tratada no contexto de economia colaborativa como um todo.

Para conduzir esta investigação, uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) foi realizada que nos permitisse coletar dados e analisar a nossa questão de pesquisa *QP*: “*Qual a definição de confiança no contexto de economia colaborativa?*”. Para conseguirmos melhor explorar aspectos desta definição, quebramos esta questão em três sub-questões:

QP.1. “Quais são os indicadores de confiança encontrados na literatura?”

QP.2. “Quais são os tipos de métodos de pesquisa usados para medir confiança?” e

QP.3. “Qual tipo de troca está sendo feita entre os participantes?”.

A partir da análise da RSL conseguimos identificar quais os indicadores de confiança têm sido estudados na literatura e quais as metodologias de pesquisa têm sido aplicadas para apreciar esses indicadores. Esses resultados permitiram a elaboração de uma proposta de um modelo de confiança que descreve para confiabilidade e os indicadores associados a cada um deles. Este modelo de confiança não é focado em nenhum sistema propriamente dito, e sua concepção engloba as principais dimensões da economia colaborativa. Além disso, essa pesquisa permitiu definir a confiança no contexto de economia colaborativa, mostrando uma evolução no conceito inicialmente proposto por seus idealizadores, sobretudo devido aos tipos de valores de troca que vem sendo utilizados nesses sistemas.

Na seção 2, apresentamos os trabalhos relacionados ao nosso. Logo depois, descrevemos a metodologia adotada, seguida pela apresentação e discussão dos resultados

¹<https://www.uber.com/pt-BR/>

²<https://www.airbnb.com.br>

obtidos. Por fim, tecemos nossas conclusões e indicamos trabalhos futuros de interesse.

2. Trabalhos Relacionados

A confiança na economia colaborativa é um tema que vem despertando o interesse de pesquisadores da computação e áreas afins (e.g., negócios e marketing). Essas pesquisas têm mostrado aspectos que podem ajudar no processo de desenvolvimento de confiança entre participantes, tanto em relação ao sistema, quanto na relação entre os usuários. Os trabalhos de [Sánchez et al. 2016, Lumeau et al. 2015, Lee et al. 2015, Fradkin et al. 2015] mostram que um dos mecanismos mais importantes para desenvolver confiança é a construção de reputação entre os usuários. Esses mecanismos de reputação estão sendo utilizados amplamente por plataformas *peer-to-peer* tradicionais, tal como o E-bay. O maior desafio mostrado por essas pesquisas é a migração desses mecanismos de reputação já estabelecidos em plataformas *peer-to-peer* para plataformas de economia colaborativa, considerando as diferenças entre os dois tipos de mercado e seus desafios particulares.

Outro mecanismo importante de confiança é a introdução de legislações que tornem os sistemas de economia colaborativa justos e aderentes às leis dos países que estão utilizando esse novo tipo de economia [Hartl et al. 2016, Pargman et al. 2016, Oh and Moon 2016]. A falta de legislações que regulem as plataformas têm feito com que a sociedade, de uma forma geral, não confie nos sistemas de economia colaborativa. Esses autores também destacam que a confiança é muito dependente da cultura de cada país, por isso, a introdução dessas plataformas em cada região é ainda mais complicada do que um sistema de software tradicional.

Como ferramenta de medição da confiança, os trabalhos de [Bilgihan et al. 2015, Nunes and Correia 2013] discutem a implementação e impacto de *frameworks* baseadas em modelos advindos de outras áreas do conhecimento, mas com o foco na confiança entre pessoas. Todavia, esses trabalhos não são focados na economia colaborativa em si, pois os autores consideram que os processos de confiança são imaturos em qualquer transação *online* existente entre usuários. Em um contexto diferente, o trabalho de [Dillahunt and Malone 2015] apresenta como a economia colaborativa pode ser introduzida em comunidades carentes para gerar algum tipo de renda para desempregados. Os autores notaram que os participantes conheciam a maioria das plataformas de economia colaborativa disponíveis no mercado (i.e., Uber, Airbnb, Lyft, NeighborGoods, entre outras), todavia, havia um receio dos participantes em utilizar essas plataformas justamente pela falta de confiança na economia colaborativa.

No trabalho de [Möhlmann 2016], os autores compararam a confiança nas plataformas de economia colaborativa com plataformas *peer-to-peer* de primeira geração (e.g., Ebay), assim como grandes plataformas de varejo *online* e não *peer-to-peer* (e.g., Walmart, Amazon, Zappos). O artigo conclui que a confiança em sistemas de economia colaborativa é ligeiramente menor do que a confiança em outras plataformas de mercado convencionais. Os achados chamam atenção para importância da confiança na economia colaborativa, sendo um dos principais desafios para o sucesso dos sistemas dessa natureza.

Em um tratamento específico de confiança focando em uma plataforma, a pesquisa de [Ert et al. 2016] apresenta um estudo que discute o papel de fotos pessoais no processo de confiança entre usuários do Airbnb. Os autores concluem que as fotos pessoais dos anfitriões do Airbnb são importantes para construir um sentimento de confiança

entre os usuários. As fotos dos anfitriões obtiveram índices maiores de confiança do que as próprias revisões dos hóspedes, pois os autores também mostram que as revisões são, geralmente, consideradas boas ou muito boas para qualquer anfitrião, dificultando o processo de avaliação das melhores locações.

Em uma perspectiva similar, o trabalho de [Ma et al. 2017] discute como a quantidade de informações que um anfitrião do Airbnb disponibiliza em seu perfil influencia no aumento na confiança das pessoas que pretendem alugar aquele lugar. Aplicando métodos mistos de pesquisa, os autores usam um *framework* conhecido como *Profile as Promise* para medir o efeito das informações fornecidas nos perfis dos usuários. Eles concluem que perfis com mais informações sobre os anfitriões são julgados mais confiáveis do que perfis com menos informações. Uma categorização feita pelos autores até mostra quais categorias de informações disponibilizadas nos perfis são melhores indicadores de confiança.

As pesquisas sobre confiança na economia colaborativa têm mostrado os aspectos que podem influenciar na confiabilidade dos sistemas (e.g., reputação dos ofertantes, introdução de legislações coerentes, *frameworks* capazes de medir e melhorar a confiança, o papel das informações pessoais). Esses trabalhos trataram os aspectos relacionados à confiança individualmente, ou seja, cada artigo foca em um aspecto de confiança distinto e utilizando, na maioria dos casos, apenas um sistema como foco. Assim, nosso trabalho tem por objetivo ampliar este cenário, contemplando os principais aspectos de confiança que vêm sendo estudados por pesquisadores em sistemas de economia colaborativa.

3. Metodologia

Para investigar as questões de pesquisa relacionadas à confiança na economia colaborativa, uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) foi conduzida nas bases de dados da computação. A RSL, como foi definida por [Kitchenham 2004], é um meio de identificar, avaliar e interpretar todos os trabalhos relacionados à uma determinada questão de pesquisa, os tópicos de uma área do conhecimento, ou um fenômeno de interesse que deseja-se explorar. Neste trabalho, a RSL foi utilizada para coletar e analisar os trabalhos que apresentam pesquisas sobre economia colaborativa e seus processos de confiança.

A RSL foi realizada entre os meses de janeiro e março de 2017. Como estamos tratando de um tema recente, não excluímos nenhum trabalho baseado no período de publicação. O primeiro autor realizou a leitura completa e o registro dos dados de todos os artigos, e sua análise foi discutida com a segunda autora. A busca foi feita nos principais repositórios de artigos da área de computação: ACM³, IEEE⁴ e ScienceDirect⁵. A busca focou em artigos no idioma inglês. A *string* desenvolvida foi a seguinte:

(trust OR confidence OR reliability) AND (“sharing economy” OR “collaborative consumption” OR “collaborative economy” OR “co-production”)

Apesar da *string* de busca ter sido desenvolvida focando no idioma inglês, isso não impediu que uma versão traduzida da busca tenha sido testada na língua portuguesa, todavia, nenhum resultado foi retornado nas buscas. Era de conhecimento dos autores que apenas algumas conferências do Brasil são indexadas por essas bases internacionais

³<http://dl.acm.org/>

⁴<http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp>

⁵<http://www.sciencedirect.com/>

(e.g., IHC e Webmedia). A *string* proposta considerou os sinônimos de confiança do idioma inglês (i.e., *trust*, *confidence*, e *reliability*), que foram três termos encontrados em trabalhos que tratavam do assunto, e os quatro termos que os autores da área vêm comumente aplicando ao fenômeno de economia colaborativa (i.e., *sharing economy*, *collaborative consumption*, *collaborative economy*, e *co-production*), como mostrado por [Lampinen et al. 2015]. Na aplicação da RSL, testes foram realizados acrescentando os principais sistemas de economia colaborativa (e.g., Airbnb, Uber, dentre outros) na *string* para verificar se mais artigos seriam encontrados. Apesar de mais artigos terem sido encontrados pela *string*, uma leitura dos títulos e resumos, e em alguns casos, leitura diagonal dos mesmos, revelou que os artigos não faziam parte do tema de interesse, portanto, a *string* de busca é independente dos sistemas/aplicações de economia colaborativa.

A partir dos artigos retornados pela *string* de busca, os seguintes passos seriam executados para extração das informações relevantes das pesquisas: (1) leitura do título e resumo de todos artigos retornados, (2) leitura diagonal dos artigos retornados, e (3) leitura completa dos artigos retornados. No total, foram retornados 103 artigos considerando-se os 3 repositórios. Esta quantidade de artigos parece pequena para qualquer contexto da computação, todavia, a economia colaborativa foi definida em meados de 2010 [Botsman and Rogers 2010], e apenas em 2012 este fenômeno começou a se estabelecer ao redor do mundo [Lampinen et al. 2015]. Com isso, a maioria dos trabalhos retornados são de 2015 e 2016, sendo que o artigo mais antigo encontrado foi publicado em 2013. Isso mostra, o interesse recente de pesquisas sobre o assunto, sobretudo em função da popularidade que algumas plataformas tem adquirido recentemente (e.g., Uber e Airbnb). Ao final das etapas da RSL para seleção dos artigos, obteve-se 22 artigos relevantes para a questão de pesquisa definida, conforme mostrado na Tabela 1.

Tabela 1. Resultado da String de Busca

Revisão Sistemática da Literatura			
Base de Dados	Título/Resumo	Leitura Diagonal	Leitura Completa
ACM	76	46	15
IEEE	6	2	1
ScienceDirect	21	12	6
Total	103	60	22

Outro fator importante de uma RSL são os critérios de inclusão de artigos que podem ter ficado de fora da busca. Como critério de inclusão, a *string* de busca foi aplicada na base do Google Scholar⁶. Essa busca priorizou artigos que ainda não foram publicados, e.g., a *string* encontrou um artigo relevante do CSCW'17, e também publicações de conferências independentes que não são anexadas por nenhuma das três bases descritas anteriormente. A busca no Google Scholar descartou os artigos que não fossem de conferências ou teses/dissertações. Assim, três artigos daquela base foram adicionados para análise completa, resultando assim em 25 artigos. Como critério de exclusão, artigos curtos de painéis de conferências foram excluídos da RSL.

Para cada artigo lido registramos várias informações que estariam relacionadas com a confiança na economia colaborativa. Dentre as informações registradas estão: (1)

⁶<https://scholar.google.com.br/>

definição de confiança para os autores, (2) indicadores de confiança estudados, (3) tipos de métodos utilizados para analisar confiança, (4) sistema usado como estudo de caso, (5) tipos de valores troca indicados, (6) objetivos e contribuições importantes e (7) trabalhos futuros. Outras informações menos relevantes também foram coletadas na RSL. Para considerar a relevância do artigo, após sua leitura completa, foram definidos os seguintes critérios de qualidade: (1) definição e tratamento da confiança no artigo; (2) qualidade do método aplicado no contexto; e (3) contribuições e trabalhos futuros interessantes. De acordo com esses critérios foram eliminados 4 da lista final, após sua leitura completa, por não terem alcançado o nível de relevância desejado para a pesquisa.

4. Resultados

Essa seção apresenta os resultados dessa pesquisa. Primeiramente, fazemos uma descrição dos sistemas utilizados nas análises dos trabalhos estudados. Embora a identificação destes sistemas não fosse um objetivo direto da nossa pesquisa, ela é útil para termos uma visão geral dos sistemas sendo explorados. Além disso, a subseção facilitará o entendimento de alguns pontos utilizados para explicar os resultados. Nas três subseções que se seguem descrevemos os resultados obtidos para cada uma das sub-questões de pesquisa descritas na introdução (QP.1, QP.2 e QP.3).

4.1. Sistemas Usados na Economia Colaborativa

As plataformas mais populares no contexto atual são o Uber e o Airbnb [Oh and Moon 2016]. O Uber é um aplicativo que permite a um ofertante usar seu veículo particular para oferecer deslocamentos para demandantes de uma origem a um destino. O serviço é similar aos serviços de táxis tradicionais, no entanto, os preços dos deslocamentos ofertados pelo Uber são muito menores, e por isso, têm atraído diversos usuários ao redor do mundo [Pargman et al. 2016]. Isso cria um ciclo que beneficia tanto o ofertante como o demandante do sistema, uma vez que o ofertante recebe o pagamento pelo deslocamento, enquanto o demandante usufrui do serviço a um custo menor que outros serviços convencionais de deslocamento.

O Airbnb é um sistema *online* (com versões *web* e para celular) que permite a ofertantes colocarem suas residências disponíveis para demandantes alugarem por um determinado período de tempo com determinadas regras e políticas de uso [Ikkala and Lampinen 2014, Lee et al. 2015, Fradkin et al. 2015]. Esta plataforma vem desafiando a indústria hoteleira ao redor do mundo, sobretudo, em função dos preços mais acessíveis que acomodações tradicionais [Lampinen and Cheshire 2016].

Em uma abordagem similar ao Airbnb, o sistema de economia colaborativa Couchsurfing⁷ oferece aos participantes a oportunidade de colocar sua residência à disposição de outros usuários que desejam acomodar-se durante um determinado período de tempo [Jung et al. 2016]. Diferente do Airbnb, no Couchsurfing o demandante não paga pela estadia, e a motivação para o ofertante é social (e não financeira).

O TaskRabbit⁸, por sua vez, provê meios para que os seus usuários ofereçam entre si os seus serviços para a realização de tarefas domésticas, tais como: fazer a compra do supermercado, mudanças, faxinas e pequenos reparos em residências

⁷<https://www.couchsurfing.com/>

⁸<http://www.taskrabbit.com>

[Dillahunt and Malone 2015]. O sistema permite que um demandante cadastre uma tarefa, e um ofertante realize a tarefa por um valor/hora pelo serviço. A plataforma tenta manter a qualidade do serviço por meio de revisões e outros mecanismos de avaliação de ofertantes e demandantes.

Os artigos também citam também plataformas criadas para que pessoas emprestem objetos que estão disponíveis para utilização de outros usuários do sistema, como o NeighborGoods⁹ e o Peerby¹⁰[McLachlan et al. 2016]. Nestes sistemas, uma pessoa pode disponibilizar uma furadeira para empréstimo de outras pessoas, por exemplo. Além disso, o relacionamento é recíproco entre os participantes, tendo em vista que o usuário que emprestou o objeto tem o direito de pegar um objeto emprestado que esteja precisando [Dillahunt and Malone 2015].

É importante ressaltar que os sistemas que lideram este novo tipo de mercado, Airbnb e Uber, são diferentes do conceito original proposto pela economia colaborativa[Pargman et al. 2016]. A definição original previa que sistemas de economia colaborativa realizariam trocas de serviços sem haver uma troca monetária por esses serviços. Entretanto, pesquisadores têm julgado evidente que muitos desses sistemas visam somente maximizar seus lucros, fazendo da troca monetária o principal insumo dos sistemas, tornando as plataformas apenas provedores de serviços *online-to-offline* [Oh and Moon 2016]. Sendo assim, os sistemas deixam de apenas incentivar o compartilhamento de recursos ociosos de seus participantes, mas focam no aumento do lucro das plataformas.

4.2. QP.1 Indicadores de Confiança

A etapa de análise dos artigos da RSL nos permitiu identificar que indicadores estavam sendo utilizados para analisar ou investigar a confiança em sistemas de economia colaborativa. A partir desta análise, propomos um modelo no qual organizamos os indicadores utilizados na literatura de acordo com a dimensão a que se refere: sistema, pessoa (ou usuário) ou serviço. O modelo é independente de sistema e participantes, ou seja, não é focado em nenhuma ferramenta específica da economia colaborativa, nem mesmo no perfil do usuário (i.e., ofertantes ou demandantes). O **Sistema** é a plataforma que os usuários acessam para participar da economia colaborativa, por exemplo: o aplicativo do Uber nos *smartphones*, o site ou aplicativo do Airbnb, o site do TaskRabbit, entre outros. A dimensão **Pessoa** é formada pelos usuários desses serviços, sejam eles demandantes ou ofertantes [Botsman and Rogers 2010]. E a dimensão **Serviço** é constituída pelo serviço sendo oferecido pelo ofertante ao demandante através do sistema.

Para cada dimensão foram identificados os indicadores de confiança associados a ela. Assim como as dimensões, os indicadores propostos são baseados nos indicadores identificados na literatura analisada. Alguns indicadores propostos representam um indicador identificado em um conjunto de artigos, este por exemplo é o caso do indicador Qualidade que é usado em [Ert et al. 2016, Fradkin et al. 2015]. Por outro lado, outros indicadores foram gerados a partir do agrupamento temático de indicadores similares. Por exemplo, o indicador Satisfação agrupa os indicadores ‘Competência e Satisfação’ apresentado em [Ma et al. 2017] e ‘Revisões e Comentários’ apresentado

⁹<http://neighborgoods.net/>

¹⁰<https://www.peerby.com/>

em [Ert et al. 2016, Pick 2012]. ‘Competência e Satisfação’ é específico para o contexto do Airbnb devido às características daquela plataforma, enquanto que ‘Revisões e Comentários’ se refere às avaliações que usuários são capazes de prover sobre o serviço de ofertantes na economia colaborativa. Como ambos tratam de avaliação da satisfação com o serviço ofertado, então os agrupamos sob um mesmo indicador mais geral Satisfação. A seguir apresentamos cada um dos indicadores associado às dimensões. A Tabela 2 mostra os artigos que fundamentaram os indicadores, permitindo a rastreabilidade da análise.

Tabela 2. Rastreabilidade do Modelo de Confiança

Rastreabilidade Modelo			
Indicador	Referência	Indicador	Referência
<i>Segurança Perc.</i>	[Dillahun and Malone 2015]	<i>Privacidade</i>	[Dillahun and Malone 2015]
<i>Risco</i>	[Mohlmann 2016]	<i>Conteúdo</i>	[Ma et al. 2017]
<i>Familiaridade</i>	[Bilgihan et al. 2015]	<i>Qualidade</i>	[Ert et al. 2016, Fradkin 2015]
<i>Dados</i>	[Oh and Moon 2016]	<i>Satisfação</i>	[Ert et al. 2016, Ma et al. 2017, Pick 2012]
<i>Autenticidade</i>	[Pick 2012]	<i>Compensação</i>	[Han et al. 2016]

A Figura 1 mostra os indicadores associados a cada dimensão. Três indicadores foram identificados como estando associados à dimensão Sistema: Segurança Percebida, Risco e Familiaridade. A **Segurança Percebida** é uma característica da plataforma, e está relacionada com a segurança que o sistema de informação deve oferecer para as pessoas. O **Risco** é uma característica da plataforma relacionada ao risco que utilizar o sistema de economia colaborativa pode trazer aos seus usuários. Finalmente, a **Familiaridade** está relacionada à facilidade com que usuários aprendem a usar a plataforma.

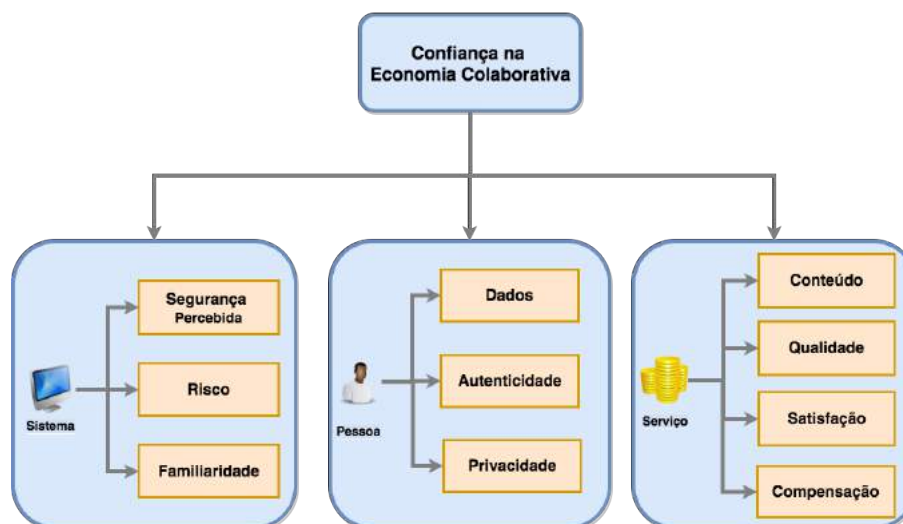


Figura 1. Modelo de Confiança

À dimensão Pessoa, foram associados 3 indicadores: Dados, Autenticidade e Privacidade. Os **Dados** de uma pessoa estão relacionadas às informações pessoais que ofertantes/demandantes disponibilizam nos sistemas de economia colaborativa. **Autenticidade**, por sua vez, está relacionada com a autenticação pelos usuários de suas informações junto aos sistemas. Por exemplo, o Airbnb permite que o usuário envie um documento

(e.g. identidade) para comprovar os dados informados. A **Privacidade** é a medida do nível de privacidade atribuído pelo usuário ao uso do sistema de economia colaborativa.

Finalmente, em relação ao Serviço foram identificados 4 indicadores: Conteúdo, Qualidade, Satisfação e Compensação. **Conteúdo** representa as informações relacionadas ao serviço que os ofertantes fornecem, por exemplo, o serviço de transporte no Uber ou o empréstimo do quarto no Airbnb. A **Qualidade** está relacionada com a avaliação do serviço feita pelos usuários envolvidos tanto na prestação deste serviço, quanto na sua recepção. Qualidade pode ser um indicador tanto qualitativo, por exemplo no caso de uma avaliação na forma de comentário sobre o serviço ofertado, quanto quantitativo, por exemplo uma nota de 1 a 5 em um ou mais critérios de avaliação (no Airbnb, o freguês avalia a limpeza do local, sua localização, dentre outros). A **Satisfação** indica o quão satisfeito os usuários ficaram com a prestação do serviço [Ert et al. 2016, Ma et al. 2017, Pick 2012], tanto do lado do ofertante, quanto do demandante. Por exemplo, no CouchSurfing, o hóspede pode avaliar se ele se sentiu satisfeito com o anfitrião e o indicaria para outros hóspedes da rede. É importante ressaltar que os conceitos de qualidade e satisfação podem variar dependendo do sistema analisado, e.g., alguns sistemas permitem que demandante e ofertante se avaliem mutuamente, como no Airbnb, mas outros permitem a avaliação do demandante para o ofertante, como no TaskRabbit. A **Compensação** são as ações tomadas pelos sistemas em relação ao serviço em caso de qualquer problema que os usuários vivenciem durante a interação com o sistema de economia colaborativa, por exemplo, caso o hóspede decida cancelar uma reserva no Airbnb, quais são os meios de compensação que a plataforma fornece aos usuários.

Este modelo de confiança, apesar de estar na sua concepção inicial, já contribuiu para pesquisadores e desenvolvedores da área, pois apresenta uma visão geral dos aspectos sendo considerados relevantes para oferecer confiabilidade nos sistemas de economia colaborativa. Assim, ele pode servir de base para guiar o projeto ou análise destes sistemas, servindo de base para a reflexão e discussão sobre indicadores de confiabilidade.

A próxima seção descreve os métodos de pesquisa que têm sido utilizados em trabalhos que lidem com confiança na economia colaborativa. A descoberta dos métodos de pesquisa que estão sendo usados, ajuda a decidir quais métodos serão utilizados para validar este modelo futuramente.

4.3. QP.2 Métodos Utilizados

A partir da RSL, foi possível saber quais métodos de pesquisa qualitativos ou quantitativos têm sido utilizados em trabalhos que focam na confiança na economia colaborativa. A Tabela 3 apresenta uma visão geral dos métodos usados e com que frequência. Pode-se perceber que os métodos qualitativos de pesquisa foram os mais aplicados no contexto de confiança (44%), enquanto que os métodos quantitativos foram um pouco menos aplicados (32%). A combinação de ambos os métodos foi utilizada em (16%) dos artigos, e (8%) dos artigos não usaram nenhum tipo de método. Os artigos que não usaram métodos contemplaram pesquisas de análises da evolução de sistemas de economia colaborativa.

Os métodos qualitativos, em sua maioria, foram conduzidos por meio de entrevistas semi-estruturadas com participantes de sistemas de economia colaborativa [Pick 2012, Ikkala and Lampinen 2014, Jung et al. 2016, Lampinen and Cheshire 2016], sendo que esse instrumento de pesquisa foi pouco combinado com outros métodos quando

Tabela 3. Métodos Utilizados na Literatura

Tipo	(%)	Descrição	Artigos
Quali.	44%	Entrev. semi-estrut., observ. e questioná.	[Lumeau 2015, Santosoa 2015, Pick 2012, Oh and Moon 2016, Dillahunt and Malone 2015, Ikkala and Lampinen 2014, Lampinen and Cheshire 2016, Pargman et al. 2016]
Quant.	32%	Coleta de dados e question. fechados	[Sanchez et al. 2016, Bilgihan et al. 2015, Nunes and Correia 2013, Han et al. 2016, Lee et al. 2015, Fradkin et al. 2015]
Mistos	16%	Entrev. + Coleta dados automáticas	[Ert et al. 2016, Hartl et al. 2016, Ma et al. 2017, Jung et al. 2016]
NA	8%	Revisões trabalhos economia colabor.	[Lampinen and Cheshire 2016]

aplicado. Além de entrevistas, os métodos utilizados foram observações de uso dos sistemas de economia colaborativa durante todo o processo de execução de uma tarefa [Ert et al. 2016, Pick 2012, Lumeau et al. 2015] e coleta de dados por meio de questionários com questões abertas [Dillahunt and Malone 2015]. Em relação aos métodos quantitativos, os autores optaram, na maioria dos casos, por questionários *online* com usuários de plataformas de economia colaborativa [Hartl et al. 2016, Bilgihan et al. 2015, Nunes and Correia 2013] ou por coletas automáticas nos sistemas de economia colaborativa mais conhecidos (e.g., Airbnb [Ert et al. 2016, Fradkin et al. 2015, Lee et al. 2015]).

Os artigos que adotaram métodos mistos, em geral utilizaram algum tipo de coleta de dados (i.e., coleta automática ou questionários) em uma das plataformas de economia colaborativa, em combinação com uma avaliação qualitativa envolvendo usuários para categorização de algum aspecto relacionado a confiança por meio da interpretação das informações contidas nos perfis dos participantes. Este foi o caso da análise do papel das fotos pessoais na confiança dos usuários do Airbnb [Ert et al. 2016]; da influência das informações no perfil do ofertante na confiança dos demandantes [Ma et al. 2017]; e das motivações dos usuários em utilizar os sistemas de economia colaborativa [Jung et al. 2016]. Além disso, foi utilizada a combinação de questionários com questões abertas e fechadas para um melhor entendimento do processo de posse em economia colaborativa [Hartl et al. 2016].

De uma forma geral, métodos qualitativos são mais utilizados para entender um novo contexto, ou as motivações e razões das pessoas para usar uma tecnologia, ou mesmo o impacto da tecnologia na sociedade. Sendo assim, isso pode indicar que a maior quantidade de artigos que tenham usado métodos qualitativos em vez de quantitativos, seja devido ao fato da economia colaborativa ser muito recente [Botsman and Rogers 2010], onde pesquisadores ainda estão tentando entender por completo o fenômeno de colaboração entre as pessoas usando a tecnologia como ferramenta de interação entre participantes.

Os trabalhos que usaram métodos quantitativos, de uma forma geral, optaram por caracterizações do uso que os participantes têm feito da economia colaborativa [Sánchez et al. 2016, Möhlmann 2016, Lee et al. 2015, Fradkin et al. 2015]. Em outras palavras, identificar indicadores e seus impactos nos participantes, e.g. saber como as

fotos de perfis podem influenciar na confiança dos participantes. Em contrapartida, os resultados indicam que os métodos qualitativos mostram “porque” os participantes tem aderido a essa nova economia. Nesse sentido, os métodos qualitativos têm sido usados, na sua maioria, para entender o conceito de confiança e acrescentar novas questões à área.

4.4. QP.3 Valores Trocados

Outra questão de interesse que analisamos através da RSL foram os valores trocados nos sistemas de economia colaborativa. Identificamos quatro valores trocados abordados pelos artigos: monetário, social, reputação e objetos. O **valor monetário** é aquele quando demandantes usam dinheiro para pagar pelo serviço de um ofertante (e.g., pagar por uma corrida do Uber). O **valor social** existe quando a interação social é a razão de utilização de um determinado sistema de economia colaborativa (e.g., Couchsurfing permite que ofertantes hospedem demandantes sem previsão de troca de valor monetário entre eles). A **reputação** é um valor negociado quando o serviço é uma avaliação dos envolvidos (e.g., o WhyTrusted¹¹ permitia a troca de avaliações). E finalmente, o **valor de objetos** ocorre quando um sistema permite aos ofertantes emprestarem, por um determinado período de tempo, objetos que demandantes necessitem (e.g., como ocorre no NeighborGoods).

Vale ressaltar que um sistema de economia colaborativa pode permitir a troca de um ou mais destes valores. Na nossa análise, identificamos quais valores eram trocados nos sistemas abordados nos artigos e classificamos a importância deste valor no sistema. Por exemplo, dada uma plataforma como o Airbnb ou Uber (as duas plataformas mais presentes nas pesquisas), a troca monetária é considerada a troca primária entre os participantes [Jung et al. 2016, Lee et al. 2015, Lampinen and Cheshire 2016], enquanto que a troca social seria considerada a troca secundária naqueles dois sistemas. Caso o artigo apresentasse sistemas diferentes em termos de tipos de troca (e.g., Airbnb e Neighbor-Good), foi considerado o tipo de troca do sistema que era tema central do artigo, em seguida, o valor do sistema que não era o foco como secundário. É importante ressaltar que nesta análise o tipo de troca está relacionado ao artigo, e não ao sistema de economia colaborativa. A classificação considerou o entendimento que os autores dos artigos atribuíram aos sistemas em questão, e não exatamente ao senso comum que a comunidade possa ter em relação a um determinado sistema de economia colaborativa. A Tabela 4 mostra que valores foram abordados em que artigos e para que sistemas.

Os dados coletados mostram que a troca de valores monetários foi a troca mais discutida nos artigos abordados. Em segundo lugar aparece a troca social, seguida pela troca de reputação e objetos. A predominância da análise de sistemas que se baseiam em troca monetária pode ser um indicador da maior popularidade destes. A maior popularidade destes sistemas pode indicar uma evolução dos sistemas de economia colaborativa em relação à sua definição originalmente proposta por [Botsman and Rogers 2010], que discutia o caráter não monetário da economia colaborativa na interação dos seus participantes. Além disso, esse resultado indica que os sistemas de troca monetária foram o de maior interesse pelos pesquisadores que estudam os processos de confiança nesse novo tipo de economia. Este interesse pode estar relacionado a vários fatores distintos, por exemplo podem ter sido selecionados por sua popularidade (inclusive internacional),

¹¹O WhyTrusted é um sistema extinto, que permitia aos participantes avaliarem serviços prestados na economia colaborativa.

Tabela 4. Valores trocados

Valores	Primário	Secundário	Terciário
Monetário	14 artigos [Ert et al. 2016, Sanchez et al. 2016, Hartl et al. 2016, Bilgihan et al. 2015, Han et al. 2016, Mohlmann 2016, Ma et al. 2017, Pargman et al. 2016, Lee et al. 2015, Fradkin et al. 2015]; 5 Sistemas (Airbnb, ShareNow, Uber, Sistema Autores, Lyft)	2 artigos [Ikkala and Lampinen 2014, Jung et al. 2016]; 1 Sistema (Airbnb)	1 artigo [Dillahunt and Malone 2015]
Social	3 artigos [Dillahunt and Malone 2015, Ikkala and Lampinen 2014]; 2 Sistemas (CouchSurfing, TaskRabbit)	14 artigos [Ert et al. 2016, Sanchez et al. 2016, Hartl et al. 2016, Bilgihan et al. 2015, Han et al. 2016, Ma et al. 2017, Mohlmann 2016, Pargman et al. 2016, Lee et al. 2015]; 2 Sistemas (Airbnb, Uber)	
Reputação	2 artigos [Nunes and Correia 2013, Pick 2012]; 2 Sistemas (PeerBy, WhyTrusted)		
Objetos	1 artigo [McLachlan et al. 2016]; 1 Sistema (NeighborGood)	1 artigo [Dillahunt and Malone 2015]; 1 Sistema (NeighborGood)	

o que também teria como consequência um maior número de usuários, e logo, potenciais participantes para análises qualitativas e/ou quantitativas; ou ainda, para as pesquisas quantitativas a facilidade de coleta e análise dessas plataformas pode ser relevante.

No entanto, é importante ressaltar que embora um sistema possa ter um valor principal sendo trocado (e.g., Airbnb o principal valor trocado é o monetário), outros valores podem ser consideradas secundários. Existem situações onde os valores de troca secundários são mais importantes para os usuários. Isso foi mostrado por [Jung et al. 2016] que discute como a troca social no Airbnb era mais relevante para diversos usuários que a monetária, mas isso não muda o tipo de troca primordial daquele sistema.

4.5. Confiança em Sistemas de Economia Colaborativa

Como descrito na seção de Introdução deste trabalho de pesquisa, a RSL seria usada para responder a seguinte questão de pesquisa: *QP. “Qual a definição de confiança no contexto de economia colaborativa?”*. A partir da leitura e aprofundamento na área de confiabilidade na economia colaborativa, uma boa definição para confiança seria:

A confiança é multifacetada, usada para diminuir riscos e incertezas criando uma sensação de segurança dos participantes. A confiança é transmitida em dois sentidos, tanto do demandante para o ofertante, quanto do ofertante ao demandante, mas tem um papel importante mediado pela plataforma, e exige níveis mais altos do que em sistemas peer-to-peer tradicionais (e.g., E-bay), sobretudo, devido ao contato social e ao envolvimento de um serviço e não um produto na troca entre os participantes. Sistemas de economia colaborativa podem envolver a troca de diferentes tipos de valores. Esses valores podem influenciar aspectos de confiança. Por exemplo, a troca monetária ou de

objetos podem priorizar diferentes aspectos da confiança.

Essa definição foi elaborada cuidadosamente com base na análise da RSL, e explica algumas das características da economia colaborativa. A confiança é multifacetada, pois depende de diversos indicadores, como mostrado no nosso modelo. Ela pode passar de um ofertante a um demandante, ou vice-versa, durante a troca de valores, entretanto, a plataforma tem um papel imprescindível na troca entre os participantes pois é o canal de comunicação entre os usuários [Möhlmann 2016]. Outros artigos até discutem que uma interface difícil de navegar e com baixa usabilidade não contribui para confiança no sistema [Bilgihan et al. 2015]. A economia colaborativa, diferentemente de outros tipos de relações *peer-to-peer*, prevê que na maioria dos casos será necessária uma interação social entre os usuários, o que por si só já é um motivo para que seja necessária uma confiança maior do que em outras interações *online* [Jung et al. 2016]. Com a crescente evolução desse tipo de economia, a troca monetária tem se tornado o principal tipo de troca entre os participantes [Oh and Moon 2016, Pargman et al. 2016]. Os sistemas de economia colaborativa podem afetar as interações sociais dos usuários como previsto por [Botsman and Rogers 2010], porém, o advento de plataformas com foco nas trocas monetárias afeta o mercado comum como um todo, trazendo as preocupações do mercado *online* para a economia colaborativa, e.g., autenticidade dos usuários, segurança e privacidade das informações cadastradas, dentre outros aspectos. Nota-se que os tipos de valores trocados nesses sistemas interferem diretamente na confiança esperada por seus usuários.

5. Conclusões

Este artigo apresentou uma análise de como aspectos relacionados à confiança têm sido tratados em pesquisas sobre sistemas de economia compartilhada. A pesquisa foi realizada através da aplicação de uma Revisão Sistemática da Literatura no contexto de economia colaborativa. Os trabalhos existentes sobre o assunto tratavam a confiança de uma forma específica, seja em uma plataforma isolada, ou em um contexto de análise que lida com um número limitado de aspectos de confiança. Essa pesquisa é uma contribuição a área de sistemas de economia colaborativa, tendo em vista o estudo amplo que foi realizado na tentativa de definir a confiança e entender suas características. A pesquisa nos revelou que a questão de confiança na economia colaborativa envolve diferentes indicadores associados a diferentes dimensões (sistema, pessoa e serviço), conforme representado no modelo (Figura 1). Além disso, a análise feita nos permitiu identificar e descrever tanto as diferentes metodologias sendo utilizadas em pesquisas relacionadas à caracterização de confiança nestes, quanto os valores sendo trocados neste modelo econômico.

O modelo proposto é a representação visual de como a confiança tem sido tratada e expressa nos sistemas de economia colaborativa. Assim, traz uma contribuição para a pesquisa na área ao organizar e explicitar os elementos relevantes e suas relações. O passo seguinte nesta pesquisa envolve a avaliação deste modelo para que ele possa ser consolidado ou mesmo revisado. Além disso, nossa análise dos métodos sendo utilizados nas pesquisas mostrou que existem diversas possibilidades metodológicas para apreciar confiança na literatura, e que podem ser replicadas no modelo proposto. A própria concepção do modelo, no sentido de ser independente de plataforma ou tipo de usuário (i.e., demandante ou ofertante), facilita sua validação em outros contextos.

Em termos de contribuições, esse trabalho apresenta a identificação dos tipos de

valores de troca, e também o levantamento do estado da arte na pesquisa sobre confiança em sistemas de economia colaborativa. Esses resultados podem ser de grande utilidade para pesquisadores trabalhando ou interessados em trabalhar na área.

Sobre as limitações desse trabalho, apesar de uma versão traduzida da busca ter sido aplicada nas bases da computação, pretendemos replicar a busca para as publicações da SBC. Esse processo foi dificultado uma vez que grande parte das conferências da SBC, dentre elas o SBSC, não estão indexadas em uma base que ofereça um mecanismo de busca (através de string de busca). Assim, pretendemos realizar uma busca manual nos eventos relevantes da SBC, mas que pelo seu custo foi deixado como um próximo passo. Além disso, na discussão sobre os tipos de valores de troca, os tipos apresentados na Tabela 4 podem não representar todos os praticados atualmente em sistemas de economia colaborativa. A metodologia proposta garantiu que as principais bases de dados da computação foram pesquisadas e analisadas na leitura dos artigos. No entanto, isso não impede que outros tipos de troca existam na literatura não investigada, ou mesmo, que existam tipos de troca que só acontecem na prática, i.e., no uso dos sistemas pelos usuários. Uma possível razão para o não aparecimento de determinado tipo de troca seria o foco da *string* de busca especificamente no conceito de confiança.

Finalmente, o modelo apresentado é resultado de uma análise interpretativa feita pelos autores. Assim, para permitir a avaliação do mesmo foi apresentado exemplos de dados que motivaram a interpretação, para permitir a avaliação da análise feita. No entanto, ainda não foi feita uma triangulação do modelo através da aplicação de outras pesquisas e análises. Este é um passo futuro necessário na direção da consolidação deste modelo.

6. Agradecimentos

Geanderson E. dos Santos agradece a FAPEMIG/Google pela sua bolsa de pesquisa.

Referências

- Bilgihan, A., Nusair, K., Okumus, F., and Cobanoglu, C. (2015). Applying flow theory to booking experiences. *Information Management*.
- Botsman, R. and Rogers, R. (2010). *What's Mine is Yours: The Rise of Collaborative Consumption*. HarperBusiness, New York, NY, USA.
- Dillahunt, T. R. and Malone, A. R. (2015). In *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, New York, NY, USA.
- Ert, E., Fleischer, A., and Magen, N. (2016). Trust and reputation in the sharing economy: The role of personal photos in airbnb. *Tourism Management*, 55:62 – 73.
- Fradkin, A., Grewal, E., Holtz, D., and Pearson, M. (2015). Bias and reciprocity in online reviews: Evidence from field experiments on airbnb. In *Proceedings of the Sixteenth ACM Conference on Economics and Computation*, EC '15, New York, NY, USA.
- Hartl, B., Hofmann, E., and Kirchler, E. (2016). Do we need rules for “what’s mine is yours”? governance in collaborative consumption communities. *Journal of Business*.
- Ikkala, T. and Lampinen, A. (2014). Defining the price of hospitality: Networked hospitality exchange via airbnb. In *Proceedings of the Companion Publication of the 17th ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work & Social Computing, CSCW Companion '14*, pages 173–176, New York, NY, USA. ACM.

- Jung, J., Yoon, S., Kim, S., Park, S., Lee, K.-P., and Lee, U. (2016). Social or financial goals?: Comparative analysis of user behaviors in couchsurfing and airbnb. In *Proceedings of the 2016 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '16, pages 2857–2863, New York, NY, USA. ACM.
- Kitchenham, B. (2004). Procedures for performing systematic reviews. *Keele University Technical Report TR/SE-0401*.
- Lampinen, A., Bellotti, V., Monroy-Hernández, A., Cheshire, C., and Samuel, A. (2015). Studying the "sharing economy": Perspectives to peer-to-peer exchange. In *Proceedings of the 18th ACM Conference Companion on Computer Supported Cooperative Work & Social Computing*, CSCW'15 Companion, New York, NY, USA.
- Lampinen, A. and Cheshire, C. (2016). Hosting via airbnb: Motivations and financial assurances in monetized network hospitality. In *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, New York, NY, USA.
- Lee, D., Hyun, W., Ryu, J., Lee, W. J., Rhee, W., and Suh, B. (2015). An analysis of social features associated with room sales of airbnb. In *Proceedings of the 18th ACM Conference Companion on Computer Supported Cooperative Work & Social Computing*, CSCW'15 Companion, New York, NY, USA.
- Lumeau, M., Masclet, D., and Penard, T. (2015). Reputation and social (dis)approval in feedback mechanisms: An experimental study. *Journal of Economic Behavior*, 112.
- Ma, X., Hancock, J. T., Mingjie, K. L., and Naaman, M. (2017). Self-disclosure and perceived trustworthiness of airbnb host profiles. In *Proceedings of the 20th ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work and Social Computing Companion*, CSCW '17, New York, NY, USA. ACM.
- McLachlan, R., Opila, C., Shah, N., Sun, E., and Naaman, M. (2016). You can't always get what you want: Challenges in p2p resource sharing. In *Proceedings of the 2016 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '16, New York, NY, USA. ACM.
- Möhlmann, M. (2016). Digital trust and peer-to-peer collaborative consumption platforms: A mediation analysis. *New York University (NYU)*.
- Nunes, M. and Correia, J. (2013). Improving trust using online credibility sources and social network quality in p2p marketplaces. In *2013 8th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)*, pages 1–4.
- Oh, S. and Moon, J. Y. (2016). Calling for a shared understanding of the "sharing economy". In *Proceedings of the 18th Annual International Conference on Electronic Commerce: E-Commerce in Smart Connected World*, New York, NY, USA. ACM.
- Pargman, D., Eriksson, E., and Friday, A. (2016). Limits to the sharing economy. In *Proceedings of the Workshop on Computing Within Limits*, New York, NY, USA.
- Pick, F. (2012). Building trust in peer-to-peer marketplaces: An empirical analysis of trust systems for the sharing economy. B.S. Thesis, Zeppelin University.
- Sánchez, D., Martínez, S., and Domingo-Ferrer, J. (2016). Co-utile {P2P} ridesharing via decentralization and reputation management. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*.

Quantificando a Importância de Emojis e Emoticons para Identificação de Polaridade em Avaliações Online

Hildon L. de Paula¹, Bruno Á. Souza¹,
Fabiola G. Nakamura¹, Eduardo F. Nakamura¹

¹Instituto de Computação – Universidade Federal do Amazonas (UFAM)
Manaus – AM – Brasil

{help,bruno.abia,fabiola,nakamura}@icomp.ufam.edu.br

Abstract. *Virtual environments, such as online stores (e.g. Amazon, Google Play, Booking), promote a collaborative strategy for reviewing products and services. The users' opinions represent their degree of satisfaction regarding the reviewed item. The set of reviews of an item serves as a reputation index. Hence, the automatic identification of the user satisfaction, regarding an item, based on his/her textual review, is a tool of great economic and strategic potential for enterprises. In this context, the growing adoption of emojis and emoticons, boosted by the mobile devices and their Apps, the users increasingly adopt such a vocabulary to express their opinion and sentiments. In this work, we present a quantitative assessment of the richness of emojis/emoticons to predict the users' opinion in product reviews in collaborative systems. Our proposal uses the Bag of Words with Support Vector Machine to predict the users' opinion in a online review, taking into account the use of: (1) only words; (2) words and emojis/emoticons; and (3) only emojis/emoticons. For certain scenarios, considering the F1 metric, the use of words and emojis results in an efficacy of 0.70, compared to 0.65, when only words are used (traditional approach).*

Resumo. *Ambientes virtuais como lojas online de produtos e serviços (e.g. Amazon, Google Play, Booking) adotam uma estratégia colaborativa de avaliação e reputação onde os usuários classificam os produtos e serviços. A opinião do usuário representa o grau seu de satisfação em relação ao item avaliado. O conjunto de avaliações de um item é referencial de sua reputação/qualidade. Portanto, a identificação automática da satisfação do usuário em relação a um item, considerando sua avaliação textual, é uma ferramenta com potencial econômico singular. Neste contexto, com a popularização de emojis e emoticons, intensificada pelo uso de dispositivos móveis e seus aplicativos, os usuários adotam cada vez mais estes símbolos como parte do vocabulário utilizado para expressar opiniões e sentimentos. Neste trabalho, apresentamos uma avaliação quantitativa da representatividade de emojis/emoticons para a identificação de opinião e polaridade em ambientes online de avaliação colaborativa. A abordagem proposta quantifica o uso da técnica Bag of Words com SVM para determinar o grau de satisfação do usuário em relação a um item, considerando: (1) palavras e emojis/emoticons; (2) apenas palavras; (3) apenas emojis/emoticons. Particularmente, para cenários específicos o uso de emojis/emoticons para a análise de sentimentos chega a ter uma eficácia de 0,70, contra 0,65 quando utilizamos apenas as palavras, considerando a métrica F1.*

1. Introdução

Ambientes virtuais como lojas online (e.g. Amazon, Google Play, Booking) e redes sociais para **avaliação**¹ de locais, estabelecimentos e serviços (e.g. Trip Advisor, Foursquare, Yelp, Vivino), permitem que usuários avaliem e compartilhem suas experiências [Almeida et al. 2016b]. Esse compartilhamento de opiniões define de forma colaborativa a reputação tanto dos estabelecimentos quanto dos produtos/serviços disponibilizados. Essa realimentação dos clientes representa uma ferramenta importante para que as empresas possam identificar oportunidades de melhoria e crescimento. Portanto, identificar automaticamente a polaridade (ou sentimento) de uma avaliação (e.g. uma a cinco estrelas, ou simplesmente positivo/negativo) expressa por um usuário é um problema com grande potencial econômico e estratégico para empresas.

Uma abordagem natural é o uso de técnicas de Análise de Sentimentos. A Análise de Sentimento, também conhecida como Mineração de Opinião, é o campo de estudo que analisa as opiniões de pessoas, sentimentos, avaliações e emoções [Liu 2012]. Os trabalhos envolvendo técnicas de Análise de Sentimento utilizam duas abordagens principais para determinar a polaridade de textos: técnicas baseadas em aprendizagem de máquina [Montejo-Ráez et al. 2014; Ye et al. 2009] e técnicas baseadas em análise léxica [Martins et al. 2015; Wilson et al. 2009]. Enquanto a primeira abordagem utiliza modelos de aprendizagem supervisionada, que necessitam de exemplos rotulados (conjunto de treinamento) para classificar a polaridade de textos; a segunda abordagem usa léxicos (um conjunto de recursos linguísticos com semântica bem definida) para determinar tal polaridade.

Entretanto, o volume de informações geradas a partir destas avaliações é grande. Como consequência, conforme descrito por Jo e Oh [2011], é difícil definir a melhor combinação de aspectos para analisar essas avaliações, devido à diversidade de: (1) estilos de escrita; (2) tamanho dos textos; (3) caracteres e símbolos especiais (emojis e emoticons); e (4) idiomas utilizados. Particularmente, emojis e emoticons são cada vez mais utilizados para expressar emoções como contentamento e descontentamento. Portanto, esses recursos linguísticos inerentes a ambientes virtuais possuem relevância na identificação de polaridade em um texto [Terrana et al. 2014].

Este trabalho apresenta duas contribuições principais: (1) a quantificação do uso de *bag-of-words* com SVM (*support vector machine*) para quantificar a satisfação dos usuários em avaliações online e (2) a avaliação da riqueza linguística de emoticons e emojis nesses textos para expressar a satisfação desses usuários.

O restante do artigo está organizado como descrito a seguir. A seção 2 apresenta os trabalhos relacionados. A seção 3 detalha a abordagem proposta neste artigo para quantificar a satisfação dos usuários em textos que possuem emojis e emoticons. A construção da base de dados, os experimentos e resultados são detalhados na seção 4. A seção 5 apresenta as conclusões e direções futuras.

¹ Este trabalho utiliza o termo **avaliação** como tradução livre dos termos em inglês: *review* (e.g. Amazon, Google Play) e *tip* (e.g. Foursquare).

2. Trabalhos Relacionados

A análise de polaridade é um tema frequente em computação [Aisopos et al. 2012; Liu 2012; Pang e Lee 2008] devido à sua aplicabilidade e potencial econômico. As abordagens mais conhecidas utilizam aprendizagem de máquina [Martins et al. 2015; Pang et al. 2002] ou análise léxica [Serrano-Guerrero et al. 2015; Wilson et al. 2009].

No contexto de avaliações de dados online, Pang et al. [2002] são pioneiros no uso de aprendizagem de máquina com técnicas supervisionadas para classificar avaliações de filmes como positivas ou negativas. Os autores representaram cada revisão como uma *bag-of-words* e alcançaram uma acurácia superior a 82,9% com o *Support Vector Machine*, usando unigramas e bigramas. Turney [2002] utilizou o mesmo cenário de revisões, empregando o *PMI-Information Retrieval* (PMI-IR) para determinar a orientação semântica de uma revisão. Turney utilizou 410 revisões de diferentes domínios e obteve uma acurácia de 65,8%.

Moraes et al. [2013] aplicaram análise de polaridade em textos curtos, comparando métodos supervisionados e não-supervisionados (léxicos) para textos em inglês compartilhados no Foursquare² (cada *tip* coletada foi considerada como uma *bag-of-words*). Os experimentos foram realizados em duas bases de dados, obtendo como resultado um empate de 69,3% entre o *Naive Bayes* e o modelo léxico, levando em consideração o F1 médio para ambas as bases de dados.

Souza et al. [2016] avaliaram o uso de Análise de Sentimentos para identificar a polaridade (positivo, negativo e neutro) de *tweets* a respeito do processo de impedimento da presidente do Brasil. Durante os experimentos os autores compararam três métodos de aprendizagem de máquina (SVM, Multinomial Naive Bayes e Max Entropy) para inferir a polaridade dos *tweets*. Em seus resultado, o SVM apresentou uma medida F1 de 93,0% para identificar as classes positivo e negativo. Na classe neutra os resultados apresentam uma medida F1 de 84,6%.

Terrana et al. [2014] propuseram um método supervisionado para classificar um *tweet* como positivo, negativo ou neutro. Os autores consideram os emoticons presentes nos textos, evitando qualquer interferência humana durante o processamento de rotulação. Como contribuição, é apresentado um método com uma acurácia média de 72,0%, mostrando que é possível analisar os *tweets* em tempo real a partir dos emoticons.

Reis et al. [2016] investigaram oito métodos de análise de sentimentos, implementados e disponibilizados no sistema *iFeel* [Araújo et al. 2014], para inferir a polaridade em textos compartilhados no jornal Reuters Online³. Os autores concluíram que o método *Sentistrength* foi o que apresentou melhor eficácia, alcançando uma acurácia de 74,0%; além de ter de apresentar uma característica interessante, permitindo analisar a força da polaridade em textos em uma escala de -5 (muito negativo) a 5 (muito positivo).

²<https://pt.foursquare.com>.

³<http://www.reuters.com>.

3. Abordagem Proposta

De forma sucinta, a abordagem proposta, ilustrada na figura 1, busca inferir a polaridade de avaliações a respeito de produtos e serviços publicados em ambientes virtuais, dando ênfase na utilização de emoticons e emojis e quantificando a riqueza linguística deste vocabulário para expressar polaridade e opinião. Para atingir esse objetivo a abordagem proposta inclui as seguintes etapas:

1. Seleção e coleta de dados;
2. Pré-processamento dos dados;
3. Classificação.

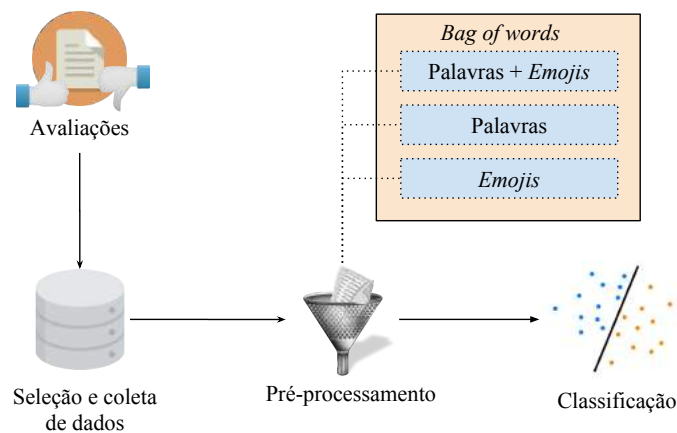


Figura 1. Abordagem proposta.

3.1. Seleção e Coleta de dados

Ambientes virtuais de lojas online de produtos e serviços (e.g. Google Play e Amazon) são plataformas que permitem que usuários compartilhem suas opiniões e experiências através de avaliações públicas. A coleta destes dados públicos é particularmente interessante para validar técnicas de Análise de Sentimentos, pois estas avaliações possuem descrições textuais das opiniões e notas que quantificam com valores discretos (e.g. uma a cinco estrelas) a satisfação do usuário relatada no texto. Portanto, as próprias notas podem ser utilizadas como rótulos mais fidedignos das opiniões (sob a ótica do usuário). Como o objetivo deste trabalho é quantificar a riqueza de emojis e emoticons para determinar a polaridade de avaliações, foram consideradas apenas avaliações cujos textos possuíam pelo menos um emoji/emoticon. O detalhamento da base de dados e sua construção é detalhado na seção 4.

3.2. Pré-Processamento

Após a coleta dos dados, os documentos (avaliações) são tratados para eliminar atributos não representativos das avaliações que foram coletadas. O pré-processamento proposto, ilustrado na figura 2, inclui as seguintes fases:

- A detecção de idioma descarta textos que não estejam em inglês;
- A função *Tokenizer* separa os documentos em *tokens* (segmentos de sentenças), permitindo processar os segmentos individualmente;

- A remoção de Menções elimina as citações a outros usuários e *hashtags* presentes nos documentos para que sejam avaliados apenas o texto e emojis/emoticons;
- As URLs foram removidas pelo mesmo motivo;
- A remoção de *stop words* elimina termos não representativos do documento (e.g. artigos, preposições e números).

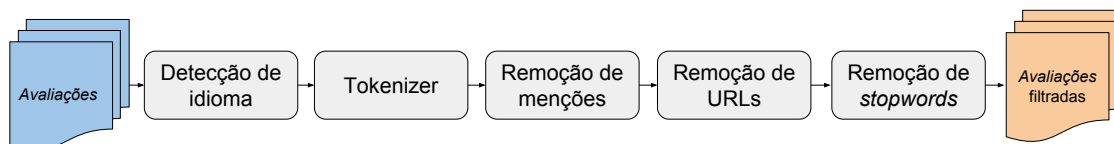


Figura 2. Etapas do pré-processamento.

A seguir, as avaliações textuais são representadas usando a abordagem *bag-of-words* (**BoW**), onde cada documento é representado por um vetor de palavras que o compõe computando os valores de TF-IDF (*term frequency, inverted document frequency*) [Aisopos et al. 2012]. A abordagem geral de BoW com TF-IDF é a principal técnica utilizada em Análise de Sentimentos sobre textos e maiores detalhes podem ser conferidos no trabalho de Aisopos et al. [2012].

Para quantificar a riqueza linguística de emojis/emoticons são consideradas três análises:

1. **Palavras + emojis** - Uma representação de *bag-of-words* com ambos os termos;
2. **Palavras** - Uma representação de *bag-of-words* apenas com palavras;
3. **Emojis** - Uma representação de *bag-of-words* apenas com *Emojis*.

3.3. Classificação

Nessa etapa, utilizamos a representação dos dados criada pela BoW com TF-IDF e submetemos ao algoritmo de aprendizagem de máquina. Vale ressaltar, que uma característica importante de técnicas supervisionadas é que elas apresentam fundamentalmente o mesmo comportamento: dado um conjunto de dados de treinamento, composto por instâncias que são formadas por vários atributos previamente rotulados (polaridades) nas classes de interesse [Moraes et al. 2013], o modelo aprende características (base de treino) de cada classe e poderá ser usado para classificar outras amostras (base de teste).

O classificador adotado foi o SVM (*Support Vector Machine*) que, em uma avaliação prévia, apresentou maior eficácia.

4. Experimentos e Resultados

Nesta seção, é apresentada a metodologia experimental e são discutidos os resultados.

4.1. Metodologia

A base de dados foi construída com avaliações coletadas da Google Play (loja de aplicativos móveis para Android). As avaliações foram coletadas utilizando a Google API⁴, que permite captura de páginas de avaliações a partir do identificador do aplicativo e do

⁴<https://github.com/facundoolano/google-play-scraper>.

idioma desejado. A Google API limita o acesso a 100 páginas de cada aplicativo por hora. Além das avaliações de aplicativos, a base inclui também avaliações publicadas na Amazon, disponibilizadas por Leskovec e Krevl [2014]; McAuley et al. [2015]. Todas as avaliações possuem uma nota entre um e cinco. Na base foram incluídas apenas avaliações com pelo menos um emoji/emoticon, dado o objetivo deste trabalho. O total de avaliações da Google Play é de 4.234 (35,3 %), e o número de avaliações da Amazon é de 7.781 (64,7 %).

A base de dados utilizada nos experimentos foi organizada de duas formas, representando dois cenários típicos para Análise de Sentimentos (figura 3):

- **Cenário I.** Esse cenário considera cinco possibilidades de nota para cada avaliação: nota um expressa a avaliação mais negativa possível; nota cinco expressa a avaliação mais positiva possível.
- **Cenário II.** Esse cenário considera três possibilidades de nota para cada avaliação: -1 (negativo), 0 (neutro) e 1 (positivo). A classe da nota -1 contém 50% de avaliações oriundas da nota 1 e 50% da nota 2 da base original, sorteados aleatoriamente. De forma análoga, a classe da nota 1 do cenário II contém 50% de avaliações oriundas da nota 4 e 50% da nota 5 da base original. A classe da nota 0 inclui as instâncias da nota 3 da base original.

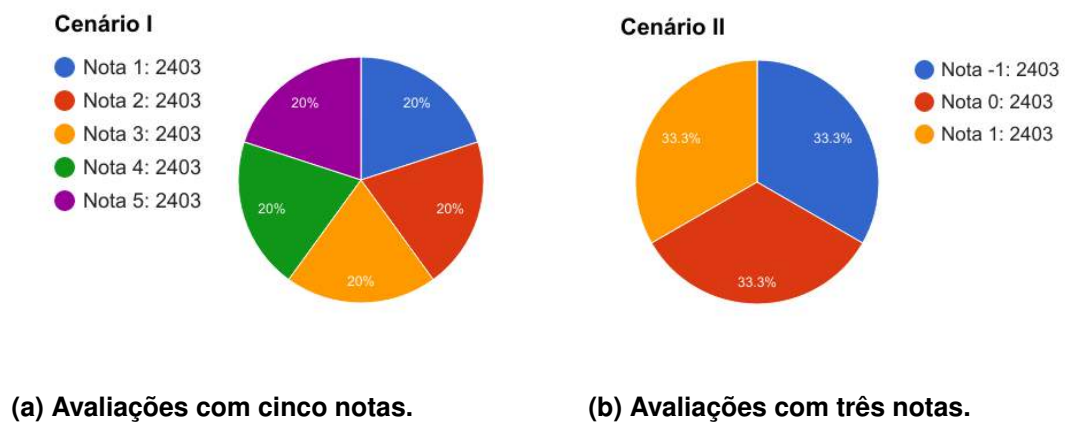


Figura 3. Distribuição de dados para os dois cenários considerados.

Na fase de pré-processamento os emojis foram transformados em palavras (conforme ilustrado a figura 4), pois assim podem ser processados para a geração da *bag-of-words*. Essa transformação tem como objetivo agrupar emojis com o mesmo significado, simplificando o vocabulário.

Para cada tipo de pré-processamento, os experimentos foram realizados em dois cenários conforme descrito na seção anterior. No primeiro as avaliações tinham cinco rótulos, onde 1 significa nada satisfeito e 5 muito satisfeito. No segundo cenário, a classificação se dava apenas em negativo, positivo e neutro (-1,0, e 1) como a maioria dos trabalhos na área de detecção de polaridade [Almeida et al. 2016a]. Estes experimentos ajudaram a comparar o desempenho do método, e observar onde ele teve o melhor desempenho.





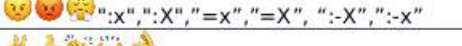



Emojis	Palavra
  ":)"", ":D", ":]"", "=)", "=D", "=]"", ":-)"", ":-]"", ":3", '=3'	emojixsmile
 ":("", ":/", ":[", ":-("", ":-[", ":(("", ":[["", "=(("", "=[["	emojixsad
 "<3"	emojixlove
 ":X", ":X", "=X", "=X", ":-X", ":-X"	emojixangry
	emojixpositive
	emojixnegative
	emojixneutral

Figura 4. Substituição de *Emojis* por palavras.

Os experimentos foram conduzidos utilizando técnicas de representação de características tradicionais, tendo como entrada as avaliações textuais e suas respectivas pontuações. A seguir, o texto é pré-processado e é executada a vetorização e transformação em uma BoW utilizando TF-IDF (*term frequency–inverse document frequency*) para identificação dos termos significativos de cada texto, e por fim este vetor de características é fornecido como entrada ao SVM.

Visando quantificar a relevância de emojis e emoticons como recursos linguísticos (ainda que representem uma linguagem informal) para expressão de sentimentos e opiniões, cada cenário avalia a abordagem de Análise de Sentimentos considerando:

- **Somente Palavras.** Abordagem BoW tradicional que considera apenas palavras (emojis e emoticons que originalmente estavam presentes no texto são descartados).
- **Palavras+Emojis.** Abordagem que considera emojis e emoticons como palavras do vocabulário.
- **Somente Emojis.** Abordagem que considera somente os emojis e emoticons como palavras do vocabulário.

Os experimentos adotam uma validação cruzada de dez grupos (*ten fold cross validation*). Os valores médios apresentados foram complementados com os intervalos de confiança para um grau de 95% de confiança. Esses intervalos são apresentados nos gráficos através de barras de erros.

4.2. Resultados e Avaliações

Os resultados e as avaliações estão organizados por cenário.

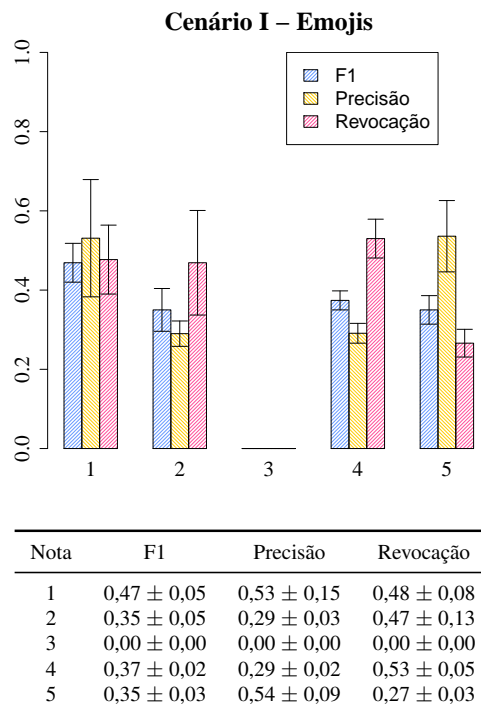
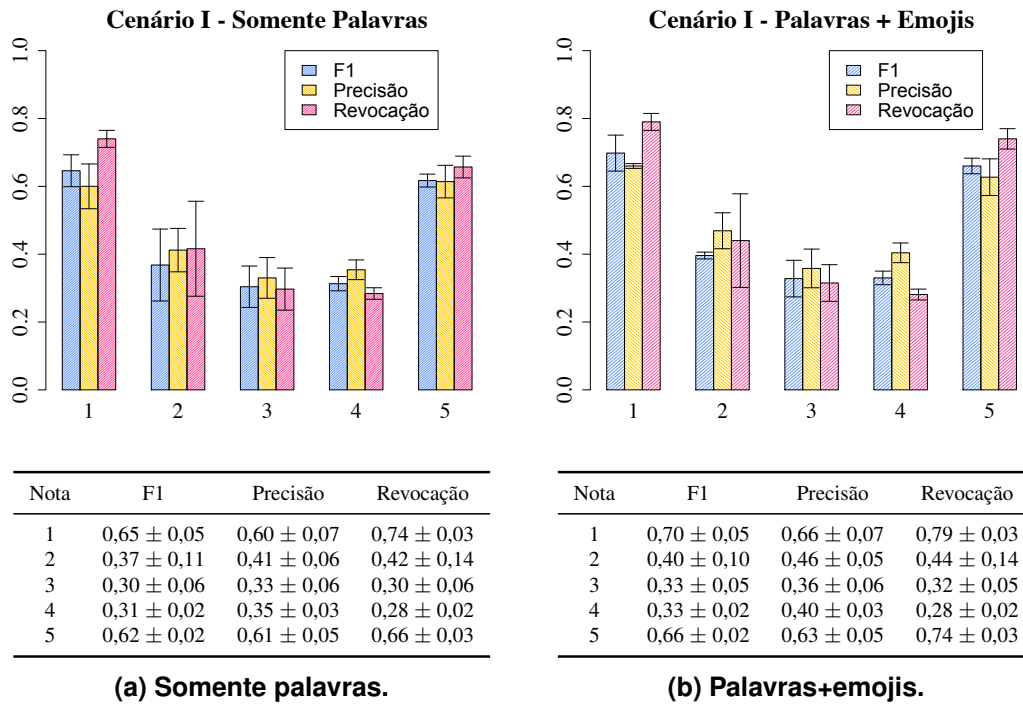


Figura 5. Cenário I: F1, Precisão e Revocação.

4.2.1. Cenário I: Cinco Níveis/Notas

Considerando o uso de palavras somente, a **acurácia geral média** foi de **47,4% ± 4,05**, contra **50,7% ± 3,9** para palavras e emojis, representando um ganho médio de 6,9% (i.e.

3,3 pontos percentuais). Ao analisar a eficácia de classificação por classe, ilustrada na figura 5, fica evidente a maior facilidade para identificar avaliações com nota mínima e nota máxima. Em particular, ao incluir emojis/emoticons, o ganho em termos de F1 para a nota 1 é de 7,7% (0,65 contra 0,70). Outro fato importante é que ao utilizarmos apenas emojis, descartando outras palavras, o BoW não foi capaz de identificar a classe referente à nota 3 em nossa base, conforme ilustrado na figura 5(c). Além disso, o ganho ao combinar palavras e emojis é maior do que o uso isolado de emojis.

A matriz média de confusão para cada abordagem é apresentada na figura 6. Em ambos os casos, fica claro que a confusão/erro mais comum tem distância um. Por exemplo, a classe nota 3 é mais frequentemente confundida com nota 2 ou nota 4, mas raramente confundida com nota 1 ou nota 5, conforme evidencia a coluna nota 3 (prevista).

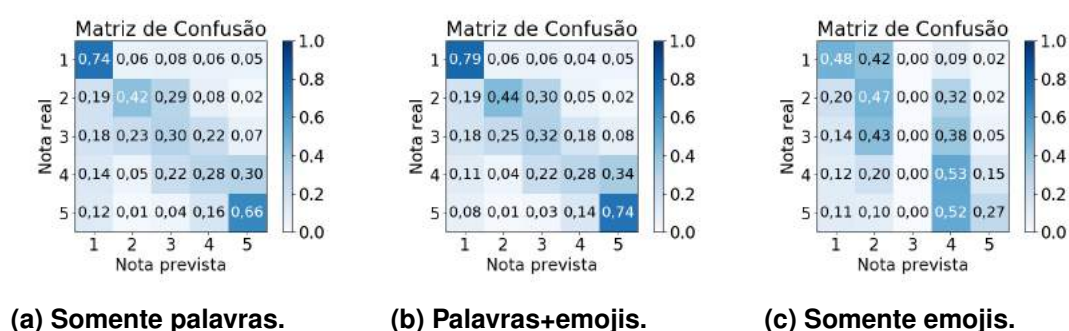


Figura 6. Cenário I: Matrizes de confusão.

Os resultados evidenciam a dificuldade para prever a nota de uma avaliação quando são considerados cinco valores possíveis. Essa dificuldade deve ser intensificada se a escala de notas for maior, e.g. de um a dez. Contudo, claramente os emojis/emoticons, utilizados para representar emoções, agregam informação relevante que é capturada pela abordagem BoW.

4.2.2. Cenário II: Três Níveis

Considerando o uso de palavras somente, a **acurácia geral média** foi de **67,1% ± 1,7**, contra **62,9% ± 1,9** para palavras e emojis, representando um ganho médio de 6,7% (i.e. 4,2 pontos percentuais). A eficácia de classificação por classe é ilustrada na figura 7, fica evidente a maior facilidade para identificar avaliações com nota mínima e nota máxima. Contudo, o uso de emojis possui impacto menor, quando comparado ao problema de cinco classes do cenário I. Isso ocorre porque o problema de três classes é melhor resolvido pelo BoW, independentemente do uso de emojis/emoticons. Novamente, para três classes, o ganho ao combinar palavras e emojis também é maior do que o uso isolado de emojis.

A figura 8 apresenta as matrizes de confusão para as duas abordagens. As matrizes mostram que ao utilizar somente palavras (abordagem tradicional), o algoritmo confunde a classe 1 (positivo) como -1 (negativo) mais do que a abordagem usando emojis: a célula (1, -1) da matriz “somente palavras” (figura 8(a)) é mais densa que a da matriz “palavras+emojis”(figura 8(b)), representando uma redução de 53,3% de erro (0,15 contra 0,07).

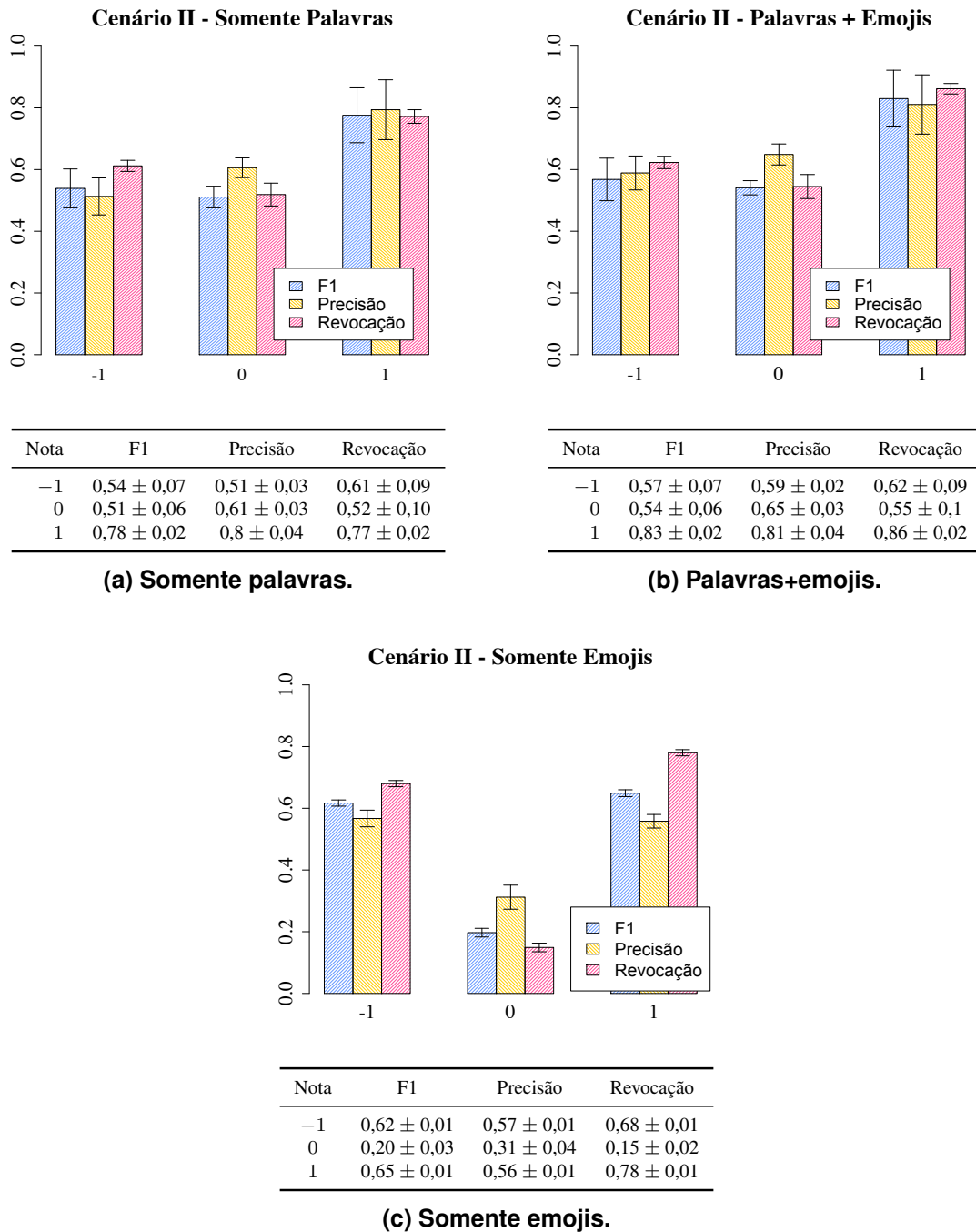


Figura 7. Cenário II: F1, Precisão e Revocação.

5. Conclusão

Neste trabalho quantificamos a relevância de emojis/emoticons como vocabulário utilizado para expressão de opinião em avaliações online. Foram consideradas avaliações coletadas da Amazon e da Google Play. Dois cenários foram considerados assumindo escalas de cinco níveis (1 a 5) e três níveis (-1, 0 e 1). O modelo adotado para previsão de notas, com base nas avaliações, foi o BoW (*Bag of Words*). Os ganhos de eficácia na previsão chegaram a 7,7% (0,65 contra 0,70), considerando a métrica F1. O uso de emojis combinados às palavras trouxe para o modelo um ganho maior do que a eficácia do uso

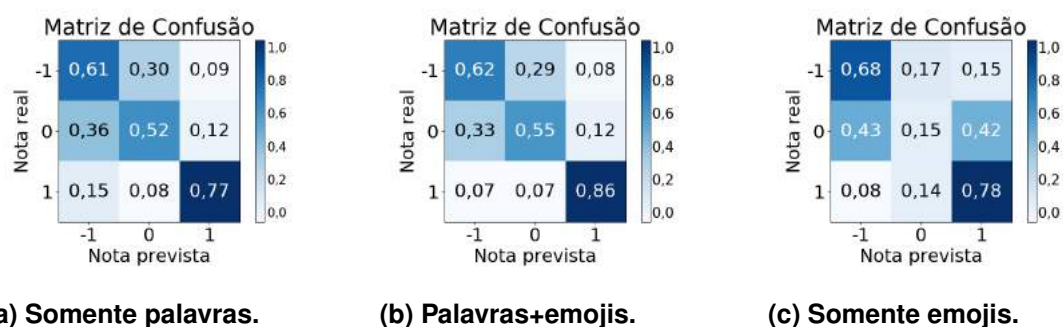


Figura 8. Cenário II: Matrizes de confusão.

isolado de emojis. Particularmente, no cenário de cinco classes, o uso isolado de emojis não foi capaz de identificar avaliações da classe neutra (nota 3). Outro fato interessante é que o uso de emojis/emoticons como parte do vocabulário do BoW ajuda a reduzir, principalmente, os erros mais extremos, tais como confundir nota -1 com 1, no cenário com três classes/notas. Portanto, emojis e emoticons são recursos linguísticos (linguagem online universal) com poder discriminante para previsão de opinião/polaridade/sentimento, principalmente, considerando opiniões extremas (muito negativas/positivas).

Como trabalhos futuros, pretendemos modelar o problema com uma estrutura hierárquica de classificação, resolvendo primeiro o problema de três classes (positivo, neutro, negativo) para então determinar sub-níveis das classes positivo e negativo. Pretendemos também aplicar técnicas de Teoria da Informação, representando as avaliações por distribuições discretas, para caracterizar as classes utilizando os conceitos de entropia e a divergência de Renyi.

Referências

- Aisopos, F., Papadakis, G., Tserpes, K., e Varvarigou, T. (2012). Content vs. context for sentiment analysis: a comparative analysis over microblogs. In *Proceedings of the 23rd Conference on Hypertext and Social Media*, pages 187–196. ACM.
- Almeida, T. G., Souza, B. A., Menezes, A. A., Figueiredo, C., e Nakamura, E. F. (2016a). Sentiment analysis of portuguese comments from foursquare. In *Proceedings of the 22nd Brazilian Symposium on Multimedia and the Web*, pages 355–358. ACM.
- Almeida, T. G., Souza, B. A., Menezes, A. A., Figueiredo, C. M., e Nakamura, E. F. (2016b). Sentiment analysis of portuguese comments from foursquare. In *Proceedings of the 22Nd Brazilian Symposium on Multimedia and the Web, Webmedia '16*, pages 355–358, New York, NY, USA. ACM.
- Araújo, M., Gonçalves, P., Cha, M., e Benevenuto, F. (2014). ifeel: a system that compares and combines sentiment analysis methods. In *Proceedings of the 23rd International Conference on World Wide Web*, pages 75–78. ACM.
- Jo, Y. e Oh, A. H. (2011). Aspect and sentiment unification model for online review analysis. In *Proceedings of the Fourth ACM International Conference on Web Search and Data Mining, WSDM '11*, pages 815–824, New York, NY, USA. ACM.
- Leskovec, J. e Krevl, A. (2014). SNAP Datasets: Stanford large network dataset collection. <http://snap.stanford.edu/data>.
- Liu, B. (2012). Sentiment analysis and opinion mining. *Synthesis lectures on human language technologies*, 5(1):1–167.

- Martins, R. F., Pereira, A., e Benevenuto, F. (2015). An approach to sentiment analysis of web applications in portuguese. In *Proceedings of the 21st ACM Brazilian Symposium on Multimedia and the Web*, pages 105–112. ACM.
- McAuley, J., Pandey, R., e Leskovec, J. (2015). Inferring networks of substitutable and complementary products. In *Proceedings of the 21th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, pages 785–794. ACM.
- Montejo-Ráez, A., Martínez-Cámara, E., Martín-Valdivia, M. T., e Ureña-López, L. A. (2014). Ranked wordnet graph for sentiment polarity classification in twitter. *Computer Speech & Language*, 28(1):93–107.
- Moraes, F., Vasconcelos, M., Prado, P., Almeida, J., e Gonçalves, M. (2013). Polarity analysis of micro reviews in foursquare. In *Proceedings of the 19th Brazilian symposium on Multimedia and the web (WebMedia)*, pages 113–120. ACM.
- Pang, B. e Lee, L. (2008). Opinion mining and sentiment analysis. *Foundations and trends in information retrieval*, 2(1-2):1–135.
- Pang, B., Lee, L., e Vaithyanathan, S. (2002). Thumbs up?: sentiment classification using machine learning techniques. In *Proceedings of the 2002 ACL Conference on Empirical methods in natural language processing (ACL-02)*, pages 79–86. Association for Computational Linguistics (ACL).
- Reis, J., Miranda, M., Bastos, L., Prates, R., e Benevenuto, F. (2016). Uma análise do impacto do anonimato em comentários de notícias online.
- Serrano-Guerrero, J., Olivas, J. A., Romero, F. P., e Herrera-Viedma, E. (2015). Sentiment analysis: a review and comparative analysis of web services. *Information Sciences*, 311:18–38.
- Souza, B. A., Almeida, T. G., Menezes, A. A., Nakamura, F. G., Figueiredo, C. M., e Nakamura, E. F. (2016). For or against?: Polarity analysis in tweets about impeachment process of brazil president. In *Proceedings of the 22Nd Brazilian Symposium on Multimedia and the Web, Webmedia '16*, pages 335–338, New York, NY, USA. ACM.
- Terrana, D., Augello, A., e Pilato, G. (2014). Automatic unsupervised polarity detection on a twitter data stream. In *Semantic Computing (ICSC), 2014 IEEE International Conference on*, pages 128–134. IEEE.
- Turney, P. D. (2002). Thumbs up or thumbs down?: semantic orientation applied to unsupervised classification of reviews. In *Proceedings of the 40th Annual Meeting on Association for Computational Linguistics*, pages 417–424. Association for Computational Linguistics.
- Wilson, T., Wiebe, J., e Hoffmann, P. (2009). Recognizing contextual polarity: An exploration of features for phrase-level sentiment analysis. *Computational Linguistics*, 35(3):399–433.
- Ye, Q., Zhang, Z., e Law, R. (2009). Sentiment classification of online reviews to travel destinations by supervised machine learning approaches. *Expert Systems with Applications*, 36(3):6527–6535.

Me sinto de mãos dadas! Um estudo sobre efeitos de comunidade no comportamento *online* de suas participantes

Talita L. Menezes, Joanna L. Q. Marques, Nazareno F. Andrade

¹Departamento de Engenharia Elétrica e Informática– Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

Cep 58429-900 – Campina Grande – PB – Brazil

{talita, joannaligia}@copin.ufcg.edu.br,
nazareno@computacao.ufcg.edu.br

Abstract. *The internet - in particular virtual social networks - has been shown to be a democratic tool against sexist discourses and in favor of propagating egalitarian ideals. This article describes a qualitative case study in the community “Vamos Juntas - Campina Grande” about the impact of violence suffered ordinarily by women when socializing in online communities, it is also about the importance of such collaborative spaces in the lives of its members.*

Resumo. *A internet - em particular redes sociais virtuais - tem se mostrado uma ferramenta democrática no confronto a discursos machistas e na propagação de ideais igualitários. Este artigo descreve um estudo de caso qualitativo na comunidade ‘Vamos Juntas? - Campina Grande’ sobre o impacto da violência sofrida cotidianamente pelas mulheres na socialização em comunidades online, e sobre a importância de espaços colaborativos como este na vida das suas integrantes.*

1. Introdução

A violência contra a mulher - seja física, psicológica, verbal, sexual, institucional ou moral - se destaca como um componente recorrente do sistema que perpetua o machismo ao longo dos anos, no ambiente *online* esta situação não é diferente. Segundo relatório da Organização das Nações Unidas¹, um apanhado em escala global sobre a violência no ciberespaço, 75% das mulheres que utilizam a internet em todo mundo já sofreram exposição a algum tipo de violência. Mulheres entre 18 e 24 anos são mais suscetíveis a ameaças e perseguições, uma a cada quatro mulheres vivem em países onde estes abusos dificilmente serão punidos e em muitos outros países as mulheres relutam em denunciar estas agressões por medo de repercussões sociais.

A rápida propagação da internet torna ainda mais difícil o trabalho dos mecanismos de controle sociais e jurídicos cabíveis em casos de agressão. Na era da informação, agressores podem atacar a qualquer momento, em qualquer lugar do mundo. O relatório citado destaca ainda que apesar da grande quantidade de mulheres que passam por essas experiências no ciberespaço, apenas 26% dos órgãos responsáveis nos países pesquisados estão tomando as medidas apropriadas.

¹ Cyber violence against women and girls - <http://bit.ly/2mVAbFQ>

Apesar dos avanços dos direitos femininos, as memórias sociais e meios de comunicação em geral ainda são marcados pelo discurso patriarcal. Se por um lado, com a mídia tradicional (jornais, novelas, propagandas), estamos fadados a consumir o que o senso comum define por politicamente correto - por vezes um discurso misógino e abusivo, o ciberespaço tem se mostrado como um ambiente democrático e horizontal na propagação de discursos massificadores. Para [Benkler 2006], as listas de *e-mail*, páginas *web*, dentre outros meios de discussão compõe plataformas de discursos que estão sendo levadas em consideração na esfera política da democracia. Estas plataformas permitem que qualquer cidadão projete um olhar crítico sobre a realidade e traga sua opinião ao debate público. Não havendo barreiras físicas e geográficas que o impeçam de falar, o sujeito torna-se menos passivo e, a medida que diversos sujeitos trazem suas visões críticas, é possível estabelecer espaços de debate público e político.

A luta contra a situação de violência sofrida diariamente pela mulher vai além de medidas de proteção para coibir a agressão. É necessário que a vítima possa usufruir de um ambiente que conte com suporte jurídico, físico e psicológico. No Brasil, por vezes, este ferramental de apoio é um tanto quanto precário e conta com agentes públicos despreparados, número de delegacias da mulher reduzido, além de delegacias que não funcionam 24 horas. Segundo [Ferreira 2013], o movimento feminista representa uma reação das mulheres à naturalização da violência pelas mesmas, ressalta a importância da internet e seus aparatos como uma ferramenta de divulgação, crítica, reação e diálogo com distintos setores sociais, e o conseqüente reconhecimento da grande mídia sobre o movimento após a proporção tomada por este no ambiente *online*.

Este estudo combina observação participante e entrevistas semiestruturadas para examinar o papel de uma comunidade *online* para o mútuo apoio de mulheres na cidade de Campina Grande - Paraíba, ao longo de oito meses. Através dos dados coletados, nossa análise mostra como a agressão sofrida cotidianamente afeta a socialização feminina em comunidades online, e como o surgimento de um espaço exclusivo às mulheres viabilizou a criação de mecanismos, políticas de acolhimento e apoio recíproco. Investigamos como esses mecanismos e políticas mudaram em conjunto o propósito da comunidade ao longo do tempo, e quais fatores contribuíram para sua permanência ou partida.

2. Visão da comunidade

“Vamos Juntas?” foi um movimento nascido a partir de uma experiência de insegurança vivenciada pela jornalista Babi Souza, 24 anos, em uma praça mal iluminada em Porto Alegre (RS)². O momento de vulnerabilidade levou Babi a refletir que uma companhia feminina naquele momento lhe traria conforto e segurança, então por que não levar essa ideia para todas as mulheres que passam por situações parecidas diariamente? Deste episódio nasceu o movimento “Vamos Juntas?”, uma iniciativa que propõe interligar mulheres - que se conhecem ou não - em situações de medo ou risco³. O movimento -

² “Vamos Juntas?": Conheça o projeto que incentiva as mulheres a andarem juntas para inibir a violência - <http://bit.ly/1NK5avd>

³ O “Vamos Juntas?” - <http://bit.ly/2q56YIz>

que atualmente atrai mais de 450 mil fãs em sua página na rede social *Facebook*⁴ - tomou tal proporção que mulheres de diversas cidades brasileiras criaram grupos locais com propósito semelhante.

A iniciativa é um chamado à sororidade, ou seja, um convite baseado na empatia e no companheirismo para que as participantes se unam e se fortaleçam, e obteve atenção positiva na mídia nacional. Em Campina Grande (PB) um grupo local surgiu em meados de junho de 2016 (época que ocorre a festividade de São João em um parque no centro da cidade), a partir da criação de um grupo fechado no *Facebook*. O grupo surgiu com a intenção de conectar mulheres que precisassem de companhia para ir, voltar ou aproveitar a festividade, que acontece em todas as noites do mês de Junho. A partir de conexões feitas através do grupo do *Facebook*, as participantes organizaram-se em grupos de *WhatsApp* por bairro, para que as que morassem mais próximas umas das outras pudessem se ajudar. A ação teve êxito e houveram relatos no grupo do *Facebook* de mulheres que conseguiram companhia, dividiram o mesmo táxi, pediram ou forneceram carona. Estes relatos talvez tenham fornecido àquele espaço um capital social (credibilidade) inicial necessário para que as integrantes se mantivessem ali e que aquele espaço inspirasse confiança. A partir daquele momento as membras que tinham dúvidas sobre o propósito daquela união de mulheres podiam contar com depoimentos sobre experiências reais vividas e interagir através da nova ferramenta com suas semelhantes, cujo propósito ali era amparo mútuo. Após o término da festividade, os grupos específicos de cada bairro caíram em desuso, enquanto no grupo inicial no *Facebook* surgiram espontaneamente postagens e comentários sobre os mais variados assuntos.

Hoje o grupo conta com mais de quatro mil integrantes e convida mulheres a ampararem umas às outras, seja fazendo companhia em uma situação de risco ou insegurança, seja compartilhando informações sobre produtos, prestadores de serviços e artigos interessantes, ou até mesmo compartilhando experiências pessoais e realizando atividades em grupo. Dar e pedir indicações sobre médicos, taxistas, advogados e outros prestadores de serviço ou produtos é uma prática recorrente no grupo. De certa forma a utilização deste recurso de indicações traz à tona a confiança que as membras têm no ponto de vista das demais.

Ainda que o recurso “grupo” do *Facebook* não seja projetado especificamente para as demandas dessa associação de mulheres (fazem falta melhores meios de controle sobre quem entra no grupo, alguma maneira de catalogar post informativos, dentre outras funções), estas se apropriaram desta tecnologia como seu ponto de encontro. Os recursos de postagem, eventos, documentos e enquetes foram moldados à realidade das utilizadoras. Com base na observação outros grupos da mesma rede social, a frequência de interações na “Vamos Juntas?” é alta, diariamente é comum que mais de oito postagens sejam realizadas e discutidas pelas membras.

Ao longo da sua história a comunidade passou por processos de transição e experimentação de diversas arquiteturas de colaboração para tentar suprir suas necessidades. A criação de um ponto de encontro central (grupo no *Facebook*), a

⁴ Facebook - <http://www.facebook.com>

difusão em grupos menores (grupos no *WhatsApp*) e a retomada deste primeiro local são um exemplo dessas experimentações. Outro recurso disponibilizado pela plataforma do *Facebook* é a possibilidade de criar documentos compartilhados entre os membros (ficheiros), mas talvez pela dificuldade de encontrar essa funcionalidade na interface gráfica do *site* e dificuldade de manter o documento organizado, criou-se uma planilha colaborativa em outra plataforma (*Google Drive*) na tentativa de catalogar melhor as informações disponibilizadas pelas integrantes do grupo às demais.

Regras foram definidas pela moderação à medida que eram necessitadas e adicionadas à postagem fixa no cabeçalho da página do grupo, como por exemplo, evitar postagens repetitivas, postagens de cunho comercial, evitar brigas. Já as normas de conduta social são as que, pelo senso comum, geram uma boa convivência entre pessoas [Lessig 1999], por exemplo, tratar as demais com gentileza e educação. Atualmente a comunidade é administrada por nove mulheres, responsáveis por aceitar novas solicitações de ingresso, mediar conflitos e cuidar para que regras e normas sejam respeitadas.

2.1. O pesquisador como membro do grupo

A participação de uma das autoras deste trabalho na “Vamos Juntas? - Campina Grande” se deu logo no início da comunidade, enquanto a outra autora foi adicionada ao grupo pouco antes da realização do presente estudo com a finalidade de observar a dinâmica do espaço.

A experiência da primeira autora a entrar na comunidade está marcada por interações com as postagens realizadas. Apesar de não envolver-se tanto em outros grupos da mesma rede social, seu comportamento nessa comunidade é mais ativo devido ao fato de conhecer pessoalmente várias das integrantes e sentir-se confortável em adentrar nas discussões apresentadas. Ademais, embora durante o estudo as autoras tenham assumido o papel de pesquisadoras, ambas foram ao mesmo tempo participantes do grupo se engajando nas demais atividades do grupo como tal. Essa experiência ao mesmo tempo permite uma visão em primeira pessoa do funcionamento do grupo, e torna necessário o entendimento da existência desse envolvimento durante a análise e interpretação dos resultados.

3. Questionamentos

O propósito deste estudo se divide em: i) elucidar como a opressão sofrida no cotidiano feminino afeta a socialização de mulheres em comunidades *online*, ii) captar o impacto da participação na comunidade “Vamos Juntas? - Campina Grande” em suas membras em relação a outros espaços *online*. Para isso, foram formuladas as seguintes questões de pesquisa:

QP1: como a situação de violência sofrida no cotidiano feminino afeta a maneira na qual as mulheres interagem e socializam em comunidades *online*?

QP2: quais as contribuições da presença na comunidade “Vamos Juntas? Campina Grande” na atitude e postura das mulheres em outros ambientes *online*?

Entende-se que, a partir da resposta destes questionamentos, será possível oferecer subsídios para a formulação de estratégias que venham a favorecer espaços de colaboração virtual direcionados ao empoderamento de mulheres.

Na Figura 1 é possível observar um mapeamento entre a participação na comunidade “Vamos Juntas? Campina Grande”, os fatores para o empoderamento feminino, o auxílio de ferramentas tecnológicas para a comunidade objeto deste estudo, e a opressão percebida pelas membras. Os relacionamentos expressos na Figura 1 são hipóteses deste trabalho.

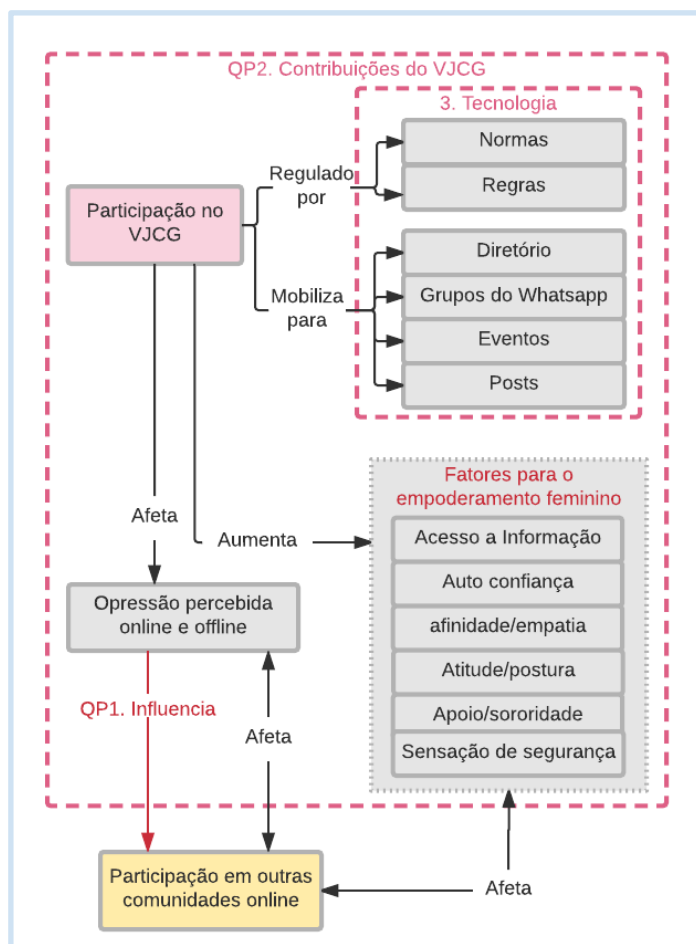


Figura 1 - Participação no “Vamos Juntas? Campina Grande”

4. Metodologia

O estudo qualitativo foi realizado por meio de entrevistas semiestruturadas e observação participante em uma comunidade *online* do *Facebook*. Para [Minayo 1994] a pesquisa qualitativa não poderia ser realizada sem um trabalho de campo, promovendo a interação do pesquisador com os sujeitos da investigação - fase em que confrontam-se os pressupostos teóricos da pesquisa com a realidade concreta.

Uma possível limitação da utilização de entrevistas semiestruturadas é o fato de que a responsabilidade do sucesso da utilização desta técnica caem integralmente sobre

o observador (entrevistador), visto que não é requerido nenhum instrumento específico que direcione a observação. Outra limitação está na capacidade de percepção do observador e em como esta pode ser alterada por consequência do seu envolvimento no meio estudado [Haguette 1995].

Esta seção descreve a metodologia do estudo qualitativo e suas etapas. Foram estas: formulação das questões a serem feitas durante as entrevistas, recrutamento e entrevista com as mulheres participantes, e a análise da transcrição das entrevistas.

4.1. Protocolo de entrevista

Para que fosse possível coletar dados subjetivos das participações no estudo, optou-se pela entrevista presencial. Nesta fase o empenho foi dirigido à criação de perguntas que pudessem esclarecer os questionamentos da pesquisa, e capturar informações sobre as experiências vividas em ambientes *online* pelas participantes⁵.

O protocolo de entrevista, composto apenas de perguntas dissertativas, foi dividido em três segmentos: i) questões menos invasivas com a finalidade de estabelecer um primeiro contato e ganhar a confiança da interlocutora (informações triviais e sobre a presença e participação em grupos no ambiente online); ii) introdução e evolução em assuntos mais densos e pessoais (informações sobre pertencimento e participação em comunidades *online* e na comunidade estudada, situações de violência vivenciadas); iii) encerramento da entrevista e questionamentos mais agradáveis com o objetivo de evitar uma sensação ruim ao finalizar o encontro.

4.2. Recrutamento das entrevistadas

O convite para a participação na investigação foi realizado por meio de uma postagem na comunidade do *Facebook*. A postagem foi realizada no dia 29 de novembro de 2016, 10:16 da manhã e obteve 51 interações (curtidas e comentários).

A interação foi bem recebida pelo grupo. Diferente do esperado, cerca de cinco mulheres se dispuseram a serem entrevistadas de imediato. Em poucas horas todas as participantes das entrevistas já haviam confirmado data, hora e local onde iriam ocorrer as conversas. Esta disponibilidade instantânea reflete com clareza o espírito de cooperação e colaboração presente na comunidade.

Devido ao grande número de participantes dispostas a contribuir com a pesquisa, foi feita uma filtragem de maneira que o grupo selecionado fosse heterogêneo, dentro das possibilidades de escolha. Os critérios utilizados na seleção das entrevistadas foram: volume de interação na comunidade “Vamos Juntas?”, área de estudo ou formação e tempo de participação na comunidade. O grupo a ser entrevistado foi composto por oito voluntárias, em sua maioria entre 20 e 28 anos, com diferentes níveis de instrução e em diferentes áreas do conhecimento, em sua maioria eram participantes da comunidade desde o seu início.

⁵ Roteiro de entrevista - <http://bit.ly/2pADSwP>

4.3. Realização das entrevistas

A realização de todas as entrevistas ocorreu na mesma semana da postagem convite, com data, hora e local definidos pelas interlocutoras. Durante o processo das entrevistas tentou-se manter o ambiente de conversa o mais receptivo e confortável possível, demonstrando segurança ao tocar nos temas mais críticos. As entrevistadas se mostraram abertas aos temas abordados e também confiantes e empolgadas sobre a participação no estudo.

Ao contrário do esperado, assuntos delicados e dolorosos foram tratados com bastante naturalidade. As perguntas foram respondidas com riqueza de detalhes e, ao final da entrevista as questões de encerramento traziam sutileza e descontração supostas.

4.4. Preparação e exploração dos dados

Optou-se por fazer uma Análise de Conteúdo do material coletado. Segundo [Frankfort-Nachmias e Nachmias 1996] esta técnica consiste em uma leitura aprofundada de cada uma das respostas, em que, codificando-se os trechos de cada uma, obtém-se uma ideia sobre o todo [Freitas 2004].

Após a realização das entrevistas todo o material gravado foi convertido em texto escrito por meio do processo de transcrição. O processo foi realizado de maneira manual e, a partir de cada áudio, gerado o documento referente àquela entrevista.

Foi feita uma rápida leitura para criar primeiras impressões e a identificação dos rótulos (*tags*) que iriam fundamentar a análise dos dados gerados (documentos das entrevistas). Em seguida foi realizada a etapa de exploração do material.

Na etapa de exploração, os documentos transcritos foram importados em um software para realização da codificação, o *MAXQDA Plus 12*. Na codificação os dados brutos passaram por uma segunda leitura para uma identificação prévia de códigos, após isso estes códigos foram agregados em categorias relativas às questões de pesquisa, o que permitiu uma descrição das características presentes no conteúdo das entrevistas. O tipo de codificação utilizado foi a *codificação axial*, onde serão analisados e reorganizados os conceitos selecionados, extraída uma ideia central e suas ramificações.

Podem ser identificados três temas principais dentre as respostas: exposição dos benefícios providos e elogios ao grupo; movimento, críticas e sugestões; e causas para temer interagir. A seguir, será discutido como cada tópico identificado contribui na elucidação das questões de pesquisa anteriormente formuladas.

5. Discussão

As conexões interpessoais geradas por meio do compartilhamento de vivências no grupo pode ser um fator determinante para o sucesso do mesmo, no sentido de motivação dos membros a contar seus casos e também de permanecer ali apoiando, ajudando e tendo cuidado com outras colegas. O grupo possui uma identidade, um assunto em comum, o que torna as ligações mais fortes [Farzan 2011].

5.1. Barreiras para a socialização *online*

Segundo as entrevistas, a baixa autoestima, insegurança e medo de constrangimentos enfrentados por algumas mulheres findam por intimidar sua participação em debates no ambiente do ciberespaço - por vezes em debates onde a voz feminina é (ou deveria ser) protagonista acerca do assunto discutido. Em cada entrevista, pelo menos dois tipos de violências foram citadas por cada participante (assédio e violência verbais, exposição e descredibilização da fala são alguns exemplos).

“Tem um grupo online que eu faço parte que é um grupo LGBT⁶, [chamado] ‘LDRV’, e entrou por acaso um homem hétero. Ele entrou no grupo porque alguém adicionou. E tinha uma postagem de uma menina lá, não é amiga (...) mas eu conheci por meio desse grupo... e ele começou a tentar calar ela de todas as formas e dizer que ela tava (*sic*) equivocada e tipo, não era nem espaço de fala dele mas ele foi super escroto e tentou calar a voz dela de qualquer forma”. (Entrevistada 3, estudante).

“(...) No meu perfil pessoal acontece de alguma vez eu postar alguma coisa, comentar alguma coisa e vir alguém com agressividade, de forma... enfim, a tentar menosprezar a minha luta, a minha palavra, a minha fala. Geralmente, sim, partem de homens, mas existem também algumas mulheres que discordam da minha opinião, mas não discordam de forma passional, discordam de forma agressiva - aí elas transformam o que deveria ser opinião em discurso de ódio e isso acontece diariamente”. (Entrevistada 4, modelo e fotógrafa).

Os trechos de entrevistas acima destacam formas de violência percebidas em situações diárias como situações ofensivas e embaraçosas. Ainda que, em algumas entrevistas, tenha havido a presença de mulheres como agressoras, para as entrevistadas os homens são a principal fonte de hostilidade e ofensas.

“(...) Eu tenho certeza que se a comunidade fosse compartilhada com homens também (...) é inerente... eles tentariam sobrepor a voz das mulheres ali”. (Entrevistada 3, estudante).

“Só o fato de ter homens já me submete a possibilidade da gente sofrer alguma opressão, de algum discurso de misoginia, machismo (...)”. (Entrevistada 2, estudante).

“(...) Homem não entende, homem não vai saber das dores que a gente tá falando, como é que aquela dor atinge você (...) eu tenho certeza que se tivessem homens a gente não conversaria sobre o que a gente conversa, que são assuntos muito íntimos (...). A logística do grupo não funcionaria tão bem, pelo menos ao meu ver, se tivesse a presença de homens... não só porque eles são os nossos maiores agressores, mas também pela questão da empatia mesmo”. (Entrevistada 4, modelo e fotógrafa).

A falta de empatia de outros usuários, principalmente homens, é citada diversas vezes como razão para limitar a própria participação em ambientes *online*.

⁶ Acrônimo para *Lésbicas, Gays, Bissexuais, Travestis, Transexuais e Transgêneros*.

Em um dos relatos foi descrita a situação onde uma mulher postou uma fotografia sua com os seguintes dizeres escritos “Eu não mereço ser estuprada!”. Em seguida, uma página conhecida por discurso que se pretende humorístico e é notoriamente machista de grande visibilidade no *Facebook* compartilhou a mesma fotografia, incluindo um comentário pejorativo fazendo alusão ao fato de que aquela mulher não corria esse risco pois era gorda. Segundo o relato, a proprietária da fotografia tentou, sem sucesso, dialogar com a moderação da página através de comentários a fim de excluir aquela postagem ofensiva. Após uma mobilização, a agredida e sua rede de contatos denunciaram repetidamente a postagem caracterizando-a como abusiva, as denúncias foram acatadas e a própria rede social veio a remover a postagem. A repercussão da situação levou a vítima a mudar a visibilidade da sua foto - de modo a estar disponível apenas para seus amigos daquela rede social, e evitar interações de visibilidade pública ali por receio de que a situação pudesse vir a repetir-se. Se por um lado a arquitetura da rede social favorece e provê diversos mecanismos para que qualquer pessoa, em qualquer lugar observe, desenvolva seu senso crítico e expresse sua opinião sobre os mais diversos assuntos, por outro favorece a criação de espaços segregadores, onde muitas vezes a única intenção dos grupos é agredir e intimidar usuários cuja opinião seja desaprovada pelos mesmos. A presença de *trolls*, a dimensão que um discurso em ambientes *online* pode tomar e o *ciberbullying* (magoar ou maltratar alguém utilizando tecnologias da informação e de comunicação [Nixon 2014]) também podem ser listados como barreiras na socialização dos integrantes desses ambientes.

[comentário sobre a agressão descrita no parágrafo anterior] “E o pior é que quando eu vi eu pensei que 100% das pessoas iam cair em cima, que todo mundo ia entender o quanto aquilo era violento, desrespeitoso, e atingiu a liberdade de expressão dela [vítima]... mas quando fui ver os comentários eram coisas escrotas, então eu pude perceber vários sujeitos que compactuavam do pensamento do cara que postou, esculhambando as mulheres, tipo: ‘Ah, tu não é mulher!’, ‘Uma mulher que faz um negócio desse não é uma mulher!’”. (Entrevistada 1, professora e mestrandia).

Se nas cidades os indivíduos agrupam-se em subsociedades baseadas em afinidades, interesses ou em laços de vizinhança [Maffesoli 1998], a configuração arquitetural do ciberespaço possibilita tanto a formação desses subgrupos, como simplifica a interação entre eles.

Se considerarmos dois possíveis subgrupos sociais na situação descrita acima, caso ocorresse fora do ambiente virtual, é pouco provável que a moça sozinha se deslocasse geograficamente até o outro grupo para reivindicar seu direito de imagem. Para [Maldonado 2011], em uma situação de agressão *online* é possível observar três perspectivas: o agressor, o agredido e a plateia. O agressor, muitas vezes motivado pelo anonimato, pela utilização de um perfil falso ou com o pensamento de que não haverá uma punição para os atos praticados ali, utiliza de qualquer argumento que lhe pareça cabível para legitimar seu direito de atacar. O agredido, a vítima que está sendo alvo da agressão. E, por fim, a plateia que pode ser dividida em duas, plateia co-autora (que compactua com a ação do agressor) e plateia protetora (que é sensível à situação e apoia

o agredido). Neste caso, a plateia protetora desempenhou um papel fundamental na situação de agressão, impedindo que fossem feitos mais ataques pelo autor da agressão e pela plateia co-autora. A carência de meios de defesa e encontrando-se em uma situação de isolamento - visto que naquele ambiente a plateia co-autora era maioria - fez com que a vítima procurasse outros meios de contornar a situação (buscar ajuda na sua rede de amigos), o que nem sempre é possível.

“(…) Na internet, na tela, todo mundo é muito corajoso. (…) E muitas vezes quando você [mulher] se vê cara a cara com o problema você trava. Você não consegue resolver, se sente menor, reprimida. Isso por todo o histórico cultural que nós vivemos”. (Entrevistada 3, estudante).

É falado sobre a internalização da violência sofrida, sobre o sentimento de impotência e falta de argumentos durante uma situação hostil. Para [Vieira 2008], em casos de violência doméstica, essa internalização pode levar ao isolamento social da vítima. É possível que um comportamento semelhante, a subtração da voz feminina, também possa ser observado no ambiente online.

Algumas das mulheres entrevistadas sequer tinham ciência de que sofriam algum tipo de violência em certas situações - aquilo já havia se naturalizado na sua rotina.

“Tem coisas que a gente não percebe. Se eu falar: nossa, não tá certo eu andar na rua pra passear com o meu cachorro e se eu escuto um ‘psiu’ eu não olho, eu baixo a minha cabeça e sigo reto. Um homem no meu lugar olharia, porque se alguém tá te chamando, você olha”. (Entrevistada 5, doutoranda).

Apesar da gravidade dos relatos feitos pelas entrevistadas e da preocupação com sua segurança e bem estar, as falas retratam a consciência de que é necessário reclamar seu lugar de fala de direito, um possível bom sinal de que estas mulheres buscam alinhar-se no sentido de reivindicações e pensamentos - visto que, por repetição ao longo da história os discursos patriarcalistas tornaram-se arraigados na cultura de forma a parecerem regulares e justos - de maneira a ecoar esse discurso de percepção também ao longo dos tempos.

5.2. O ciberativismo no Vamos Juntas e suas contribuições

Nesta seção foram enfatizados os meios pelos quais a comunidade “Vamos Juntas? - Campina Grande” atua no empoderamento e restauração da autoconfiança de suas participantes.

Um ponto importante é a segurança que todas as entrevistadas relataram sentir ao compartilhar relatos e receber indicações de serviços. A noção de que a comunidade é um ambiente seguro para conversar, mesmo tratando-se de uma comunidade *online* que não utiliza-se de nenhuma ferramenta específica para garantir tal recurso, traz consigo a confiança nas parceiras que fazem a moderação da comunidade e também o conforto de que dificilmente um possível agressor estará à espreita.

“É um local de empoderamento. Quando você se encontra dentro de uma comunidade que você pode falar e não vai ser calada, você se sente empoderada

de falar em outros meios de comunicação e até nas relações pessoais do dia a dia você vê que você pode ter voz”. (Entrevistada 3, estudante)”.

Uma das regras do grupo é a expressa proibição de homens ali. As participantes julgam esse fator como indispensável para a manutenção da segurança daquele espaço e parece ser considerado um sinal de limite muito claro dentro da comunidade. A delimitação de regras contribui com o comprometimento de participantes no grupo [Farzan 2011].

O auxílio na percepção de que uma situação vivenciada é uma situação de violência foi um dos tópicos mais citados durante as entrevistas. Ter consciência de que uma situação, até então tida como normal ou corriqueira, não é tão natural assim permite à mulher defender-se e alertar outras para que também façam o mesmo. Atitudes entranhadas na cultura e no dia-a-dia podem passar despercebidas como formas de violência e opressão. A partir dessa percepção e conhecimento das situações pode surgir a mudança de comportamento tanto da mulher, conhecedora dos seus direitos, como também do homem, que saberá que atitudes como aquela não serão mais toleradas.

“A gente também tem que educar os homens, vamos dizer, porque são os homens que repreendem os outros. É como se um machista ele não vai ouvir a gente, mas ele vai ouvir os outros homens. Então as redes sociais serviram não só para a gente mas para outros homens entenderem também o que a gente passa e hoje em dia eu sinto um suporte também por outros homens, não só por mulheres”. (Entrevistada 5, doutoranda).

“Muitas opressões eu descubro por causa das redes sociais e meu comportamento muda frente às situações, frente aos homens, frente às mulheres”. (Entrevistada 5, doutoranda).

O sentimento de comunidade presente transmite a sensação de estar sempre acompanhada fortalece as ideias de que: ninguém ali está só e ninguém ali é rival, e em uma situação de necessidade alguém oferecerá suporte.

“A gente sempre vai amadurecendo com as coisas, né? Eu também nem atentava para o quanto a gente [mulheres] é desunida, e o quanto que isso nos enfraquece (...)”. (Entrevistada 1, professora e mestranda).

“Me sinto de mãos dadas. Pois eu acho que é isso que as mulheres precisam, elas precisam dar as mãos diante de toda a opressão que a gente vê por aí. A gente vê que tudo que conseguimos até agora foi porque as mulheres se uniram para lutar contra as experiências de perversão que a gente enfrenta cotidianamente”. (Entrevistada 2, estudante).

“Meu comportamento muda porque eu sei que eu não estou sozinha!”. (Entrevistada 5, doutoranda).

Em um ambiente onde a palavra de ordem é sororidade, as entrevistadas relataram situações onde as mulheres mais confiantes e que estão por mais tempo em contato com as ideias suportadas pelo grupo ajudam as demais a perceber e valorizar seu poder, e nesse ciclo novas gerações de mulheres que vão chegando e as demais

permanecendo. Segundo [Drentea & Moren-Cross 2005], o que acontece com grupos semelhantes ao “Vamos Juntas? - Campina Grande” é mútuo o oferecimento de suporte emocional e estrutural no que diz respeito a situações de agressão sofrida, indicações de serviços que outras já tenham utilizado, desabafos pessoais, companhia em momentos de necessidade, e qualquer outro assunto que possa surgir. De certa maneira estas mulheres estão conectadas através do relato de suas experiências ao grupo.

“Acho que o grupo não é assunto de meninas, é assunto de pessoas que, apesar de estar em maior número, enfrentam problemas por minoria..., e a gente discute tudo lá dentro ...”. (Entrevistada 5, doutoranda).

“(...) É ótimo ter um grupo onde você se sinta segura para desabafar sobre qualquer coisa, seja do assunto mais sério, suas experiências mais difíceis e dolorosas, até falar sobre o que a gente fala: cabelo, maquiagem e outras bobagens”. (Entrevistada 4, modelo e fotógrafa).

Outro ponto relevante tocado durante as conversas foram sugestões e críticas ao grupo, com o objetivo de tornar a comunidade um ambiente ainda mais voltado a assuntos pertinentes à realidade feminina. Postagens demasiado individualistas ou sobre venda de produtos foram criticadas, com a justificativa de que isso não seria o cerne do grupo. Ainda que possibilitadas de realizar tais críticas diretamente no grupo, as mulheres concordaram de que se uma postagem é realizada, então há em alguma mulher a necessidade de falar sobre aquilo e que todas têm consciência de que aquele ambiente deve ser mantido com zelo. Assim, os conflitos, aparentemente, são sobrepostos pelo ideal do grupo.

“Ainda tem muito individualismo. Poderíamos fazer coisas mais coletivas, mais conjuntas... tipo: ‘O que você tá passando?’ ‘Quem tá precisando de alguma coisa?’ Ter mais esse espírito coletivo. (...) Tem que voltar mais para o tratamento que a sociedade tem com a mulher”. (Entrevistada 3, estudante).

O espaço, que teve início como uma ferramenta para conseguir caronas durante uma festividade, evoluiu ao ponto de tornar-se um refúgio às suas integrantes. Para [Oldenburg 1989], um espaço com essa característica pode ser chamado *Third Place*, onde é possível conversar sobre assuntos mais delicados ou simples banalidades. Esse processo de evolução é continuado a partir do momento que ocorrem novas apropriações de tecnologias para o cumprimento de necessidades, que são definidas ou modificadas regras, de maneira geral, que pode-se perceber registro de vida naquele lugar.

Comentários elogiosos e de agradecimento também surgiram durante as entrevistas. Foi sugerido a criação um encontro entre as mulheres do grupo e a extensão do trabalho dentro da comunidade online para espaços reais.

“Eu acho que tem que ter uma coisa de sair do virtual e se encontrar mesmo, mas pessoalmente (...) Porque eu mesmo que sou tímida, conhecendo as pessoas pessoalmente, talvez eu interagisse mais (...)”. (Entrevistada 2, estudante).

“Quem sabe pensar em uma ONG para mulheres, fazer palestras nas comunidades periféricas... fazer essa mesma entrevista com algumas mulheres da comunidade periférica”. (Entrevistada 1, professora e mestranda).

O que se percebeu foi que este senso comum sobre os obstáculos enfrentados pelas mulheres, finda por despertar em cada uma a motivação e atitude de socorrer outra mulher quando esta se encontra em um cenário vulnerável. O grupo, de fato, representa um lugar seguro para a livre expressão das mulheres, ao mesmo tempo que provê conhecimento e suporte para uma mudança de postura na própria comunidade e em outros ambientes na rede. A clareza de propósito, limites e atributos da comunidade quanto unidade, permite o comprometimento e conexão daquelas mulheres através de uma causa [Farzan 2011].

6. Conclusão

Por meio deste estudo buscou-se destacar como a violência enfrentada diariamente pelas mulheres se estende ao ciberespaço, afetando a socialização e interação em ambientes *online*. Buscou-se também entender como a participação e o envolvimento na comunidade “Vamos Juntas? Campina Grande” contribui na mudança de atitude e posicionamento dessas mulheres em outros espaços de interação na rede.

Durante o processo de entrevista, diversos tipos de violência foram destacadas, como por exemplo, o assédio e agressões verbais, exposição, descrédibilização da fala. Em decorrência disso é gerado um sentimento de insegurança, baixa autoestima e timidez frente ao relacionamento social no ciberespaço. É importante ter em mente a ideia de que o que é realizado e discutido no mundo virtual acontece fora dele como uma mudança de pensamento e de comportamento. A partir disso é possível refletir sobre como as atitudes no ambiente virtual são de extrema importância para nossa convivência enquanto sociedade.

Para [Rangel 2011] o papel exercido pela imprensa nos primeiros momentos do movimento feminista no Brasil hoje é representado pela internet. Frente à realidade apresentada, é necessário ampliar a discussão acerca das experiências femininas tanto de opressão e violência, como também de vivências e relatos diversos, para outros meios de comunicação, reconhecendo a riqueza de possibilidades e benefícios que ferramentas *online* podem oferecer aos movimentos sociais.

As principais contribuições deste trabalho atestam as hipóteses levantadas anteriormente: a participação na referida comunidade contribuiu positivamente no aspecto de empoderamento (percepção das agressões sofridas, busca de apoio, suporte emocional) e mudança de atitude e pensamento de suas integrantes.

Futuramente, espera-se utilizar resultados provenientes de postagens da comunidade estudada para a proposição de um estudo com métodos mistos com a finalidade de complementar os resultados apresentados neste artigo.

7. Agradecimentos

Agradecemos às participantes das entrevistas por sua colaboração e às instituições CAPES e Universidade Federal de Campina Grande pelo suporte na realização desta pesquisa.

8. Referências

- Bardin, L. (1996) "L'analyse de contenu", PUF, 8eme Edition, Paris.
- Benkler, Yochai. (2006) "The wealth of networks: how social production transforms markets and freedom", Yale University Press New Haven.
- Drentea, P., & Moren-Cross, J.L. (2005) "Social capital and social support on the web: The case of an Internet mother site", *Sociology of Health and Illness*, 27(7), p. 920–943.
- Farzan, R., Dabbish, L., Kraut, R., Postmes, T. (2011) "Increasing Commitment to Online Communities by Designing for Social Presence", CMU, Human-Computer Interaction Institute, School of Computer Science, Carnegie Mellon University Research Showcase.
- Ferreira, G. de S. (2013) "Feminismo e redes sociais na Marcha das Vadias no Brasil", *Revista Ártemis*, Vol. XV nº 1, p. 33-43, ISSN: 2316 - 525.
- Frankfort-Nachmias, C & Nachmias, D. (1996) "Research Methods in The Social Sciences", St. Martin's Press, New York.
- Freitas, H. (2004) "Técnica inovadora para análise de dados qualitativos", Porto Alegre: I SBSI – Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação, PUCRS-UFRGS - UNISINOSUCS, p. 205-212.
- Haguette, T.M.F. (1995) "Metodologias qualitativas na sociologia", Vozes, 4ed, Petrópolis.
- Lawrence L. (1999) "Code and Other Laws of Cyberspace", Basic Books, p 297.
- Maffesoli, M. (1998) "O Tempo das Tribos: O declínio do individualismo nas sociedades de massa", Forense Universitária, Rio de Janeiro.
- Maldonado, M. T. (2011) "Bullying e cyberbullying: o que fazemos com o que fazem conosco", Editora Moderna, São Paulo.
- Minayo, M.C. de S. (1994) "O desafio do conhecimento: pesquisa qualitativa em saúde", São Paulo: Hucitec/Abrasco, 3.ed.
- Oldenburg, Ray. (1989) "The Great Good Place", Paragon House, 3ed, New York.
- Radin, P. (2006) "'To me, it's my life:' Medical communication, trust, and activism in cyberspace", *Social Science and Medicine*, 62(3), p. 591–601.
- Rangel, L. de A.S. (2011) "Feminismo ideal e sadio': os discursos feministas nas vozes das mulheres intelectuais capixabas Vitória/ES (1924 a 1934)", 268 f. Dissertação (Mestrado em História) - Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Humanas e Naturais.

Vieira L.J.E.S., Pordeus A.M.J., Ferreira R.C., Moreira D.P., Maia PB, Saviolli K.C.
“Fatores de Risco para Violência Contra a Mulher no Contexto Doméstico e Coletivo”, Saúde Soc., p. 113-125.

WikiOlapBase: A collaborative tool for open data processing and integration

Pedro M. Bernardo¹, Ismael S. Silva¹, Glívia A. R. Barbosa¹, Flávio R. S. Coutinho¹,
Evandrino G. Barros¹

¹Departamento de Computação – CEFET–MG
Av. Amazonas, 7675 – Nova Gameleira – Belo Horizonte – MG – Brazil

pedromagalhaesbernardo@gmail.com,

{ismaelsantana, gliviabarbosa, coutinho, ebarros}@decom.cefetmg.br

Abstract. *The technological advances have made data sharing and knowledge generation possible in several areas. In order to support information extraction and knowledge generation, several datasets have been made publicly available, giving rise to the concept of open data. However, while such data are available, the processing, visualization, and analysis of them by society, in general, can be considered difficult tasks. Data are available to a great volume, in different files and formats, making it difficult to cross-reference and analyze them to obtain relevant information without the support of appropriate tools. Inspired by this scenario, this paper presents WikiOlapBase, a collaborative tool capable of processing, integrating and making feasible the analysis of open data from different sources, even by people without technical knowledge. WikiOlapBase contributes to the expansion of open data analysis, since it favors a greater information sharing and knowledge dissemination.*

1. Introduction

Technological evolution has enabled an increase in the speed and quantity of data that are produced daily and can be used to extract information and generate knowledge in different areas (e.g., economics, sociology, computing, engineering, biology and political science). Currently, this data can be produced and extracted from sources such as transactional information systems, e-commerce websites, social networks, mobile devices, sensors, governmental registries, among others. This phenomenon became known as Big Data [Sagiroglu and Sinanc 2013].

With the goal of sharing information and knowledge, several datasets have been made publicly available, giving rise to the concept of open data, which is available to anyone independently of their technical expertise [Hilbert 2013]. An example of that is data provided by the government, also known as open government data (OGD) [Vaz et al. 2010].

However, data availability alone is not enough for most people to process and analyze open data (whether governmental or not). As the data generally is heterogeneous, available in a variety of formats, in large volume and not always of easy understanding for the interested people, the lack of technical knowledge becomes a hindrance for its consumption [Graves and Hendler 2013].

This context raises two challenges: the first concerns the demand for an infrastructure capable of processing and integrating open data from different sources, making it possible to explore and analyze these datasets. The second refers to the demand for a tool, powered by this infrastructure, capable of generating visualizations and analysis without the need of technical knowledge from the user [Graves and Hendler 2013], [Sagiroglu and Sinanc 2013].

Encouraged by these challenges, this work proposes WikiOlapBase, a collaborative tool, publicly available, which is able to process and integrate open data. The goal of this tool is to provide an infrastructure so that contributors can (1) insert large volume of data from different sources, (2) manipulate and integrate data from different sources through filtering, grouping and joining operations, and (3) make available the processed and integrated data in a single format so they can be consumed by data visualization and analysis tools.

This work was conducted in two phases. The first one consisted of reviewing the literature on approaches for data processing, storage, and integration in the open data scenario, as well as in the definition of the tool's requirements. In the second phase the tool's architecture was proposed, followed by its development and evaluation.

The proposed tool contributes so that users, from different areas of knowledge can process and integrate open data of interest. In a complementary way, WikiOlapBase may support the expansion of open data analysis, thus contributing to a greater information sharing and knowledge dissemination [Graves and Hendler 2013], [Hilbert 2013].

2. Related Work

In the literature, it is possible to find works (e.g., [Graves and Hendler 2013], [Hoxha and Brahaj 2011], [Ding et al. 2010]) that describe the architecture of systems for open data integration and analysis. For example, Graves and Hendler (2013) introduce the prototype of a tool, OpenData-Vis, to integrate open data and make it readable for humans and computers. The authors argue about how this type of tool can benefit the population interested in the integration and analysis of large data volume and reinforces the demand to implement it and make it available for public use.

In turn, Hoxha and Brahaj (2011) propose the use of semantic web technologies to integrate data from different governmental organizations. The paper presents a conceptual approach composed of three modules. The first one is responsible for modeling an ontology and converting the raw data. The second module consists of an interface for querying the generated knowledge base and the third specifies an information visualization tool. Similarly, Ding et al. (2010) are developing an initiative to integrate and make available data from the United States government. The authors show how semantic web technologies can be used to convert and integrate this data.

Another related research line consists of works that describe system architectures to support data visualization. Viegas et al. (2007) introduce ManyEyes, a collaborative website in which users could submit data, as well as create and analyze interactive visualizations. The work done by Tang et al. (2004) addresses the challenges of designing an architecture for data visualization systems. According to the authors, in order to create a visualization system that is suitable for use, it is necessary to define a transparent

infrastructure that describes: (1) the data model, (2) the way data is sent, and (3) the possibilities of transformation for the generated visualizations.

Although the related work discusses the challenges, requirements, and/or models of architectures for data processing, integration, and visualization systems, the authors do not detail the designs of the architectures so that they can be implemented and made publicly available. In addition, in spite of praising the importance of the collaborative aspect in the process of processing, visualizing and analyzing open data, the architectures presented in previous works do not offer collaboration mechanisms for the steps of data processing, integration and crossing [Graves and Hendler 2013], [Hoxha and Brahaj 2011], [Ding et al. 2010].

The tool proposed here differs from the others since it offers an infrastructure that supports processing and integration of open data in a collaborative way. Thus, users are able to collaborate in the insertion, processing, integration and cross-referencing of data from different sources. In addition, WikiOlapBase presents a robust architecture, designed to support open data visualization systems, and extend collaboration capability beyond the generation and analysis of such visualizations.

3. Methodology

As highlighted by Tang et al. (2004) and Graves and Hendler (2013), to architect and develop an infrastructure for open data processing and integration it is necessary to specify the requirements and architecture of the tool, develop the interaction modules, and evaluate and make it available. Thus, the methodology for conducting this work consisted in initially identifying the necessary requirements for open data processing and integration from different sources.

The requirements were identified from a review in of literature on Google Scholar and other major research repositories related to Computing: IEEE Xplore, ACM Digital Library, and Springer. The search string included the following terms: "open data processing tools", "collaborative open data analysis", and "open data visualization". Following that, the identified requirements were validated with three experts with more than eight years of experience with data processing and analysis.

Later, as suggested by Graves and Hendler (2013), the architecture of WikiOlapBase was defined in terms of technologies, data model, and operations to support the processing, integration and cross-referencing of different data sources. Then, WikiOlapBase was implemented from the requirements and the architecture defined in the previous steps. After its development, the tool was evaluated with users to verify its suitability for use through a Usability Test [Rubin and Chisnell 2008]. Next, each step of the methodology will be detailed and its main results will be presented and discussed.

4. Proposed Tool for Open Data Processing and Integration

This section presents the requirements that guided the development of WikiOlapBase, as well as the architecture and the tool created

4.1. WikiOlapBase's Requirements

Since this work proposes a tool for processing, integrating and cross-referencing open data from different sources, through a literature review (e.g, works such as those performed by

Tang et al. (2004) and Graves and Hendler (2013)) and validation of specialists in the area of data processing and analysis, it was possible to identify that WikiOlapBase should include the following features:

1. The tool must maintain the meaning of the original data.
2. The tool should convert different formats to the defined data model.
3. The tool should allow users to access the data present in its integrated database.
4. The tool should allow the definition of metadata to a given dataset.
5. The tool must be able to establish a relationship between different datasets.
6. The tool must accept compressed files.
7. The tool should allow the division of datasets into multiple files for submission.
8. The tool must provide an interface so that other applications can access the data present in the integrated database.
9. The tool must be able to store data on large scale.
10. The tool should optimize the data query time.

4.2. Architecture

The architecture of WikiOlapBase was specified, from its objective and requirements, in order to define: (1) the programming language used, (2) the data model and the Database Management Systems used, (3) the form of data access and (4) any design decisions regarding data processing and integration.

The Model-View-Controller (MVC) architecture standard was used for the development of the tool. In this pattern, the data model, user interface and control logic are separated into three components: (1) the model, which represents the data structure and business rules of the application, (2) the view, which presents the model for the user and (3) the controller, which interprets the user input and communicates with the model to make the necessary changes [Plekhanova 2009]. This pattern has been chosen because it allows the development and testing of each component independently, which facilitates and accelerates development. In addition, MVC also favors the evolution of web application functionalities [Gupta et al. 2012].

Python and the Django framework were used for the coding of the tool. Python is a popular programming language that supports integration with other languages and tools, in addition to a variety of libraries. Django is an open-source framework that seeks to automate development by adhering to the principle "do not repeat yourself"[Plekhanova 2009]. Also, the user interfaces were developed using HyperText Markup Language (HTML), Cascading Style Sheets (CSS), and JavaScript.

Since WikiOlapBase should work as a base infrastructure for open data visualization tools, and these tools typically make use of OLAP operations ([Viegas et al. 2007], [Tang et al. 2004], [Graves and Hendler 2013]), the WikiOlapBase data model should enable operations provided in such tools. Therefore, WikiOlapBase makes use of the column family model, which was designed to be horizontally scalable and it optimizes OLAP operations, that typically involve complex queries on large data volume [Sorjonen 2012], [Moniruzzaman and Hossain 2013].

In addition to storing datasets, WikiOlapBase also records the metadata that characterizes these sets. The storage of this metadata is relevant so that data from different sources can be structured, retrieved, and integrated into the tool [Turner 2002].

WikiOlapBase adopts the document-oriented data model for storing the metadata. This model was chosen because it does not have a defined structure, which allows adding new attributes that describe metadata on demand [De Diana and Gerosa 2010].

Cassandra was used to implement and manage the column-family model, for the document-oriented model, MongoDB was used. According to the website db-engines.com (2016), this two DBMS are among the ten most used, being the first place in their data model categories. This shows the popularity and acceptance of the community in relation to these tools, which justified their choices. In addition, the Apache Spark platform was used to perform more complex data operations (e.g., join) and to make reading and writing data faster on Cassandra [Kolaczowski 2014].

Finally, to access the data, a REST API was made available, due to its simplicity and natural suitability for the web [Maleshkova et al. 2010]. Figure 1 shows the implemented architecture diagram.

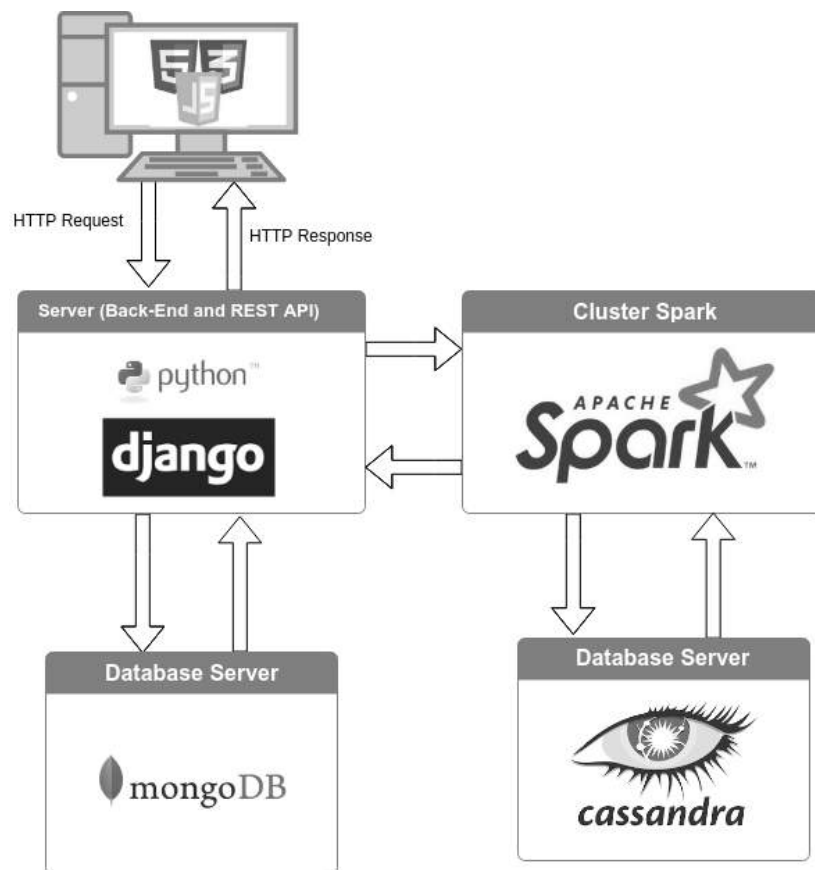


Figura 1. WikiOlapBase's Architecture

4.3. WikiOlapBase

The proposed tool has two modules, the first one is responsible for receiving, characterizing and integrating datasets sent by users. In this process the dataset is processed and stored in Cassandra and the metadata is stored in MongoDB.

The main flow of execution of the first module of WikiOlapBase consists of four steps. As shown in Fig. 2, the first step is to select and send the desired dataset, it is worth

mentioning that in this first version only CSV files are accepted.

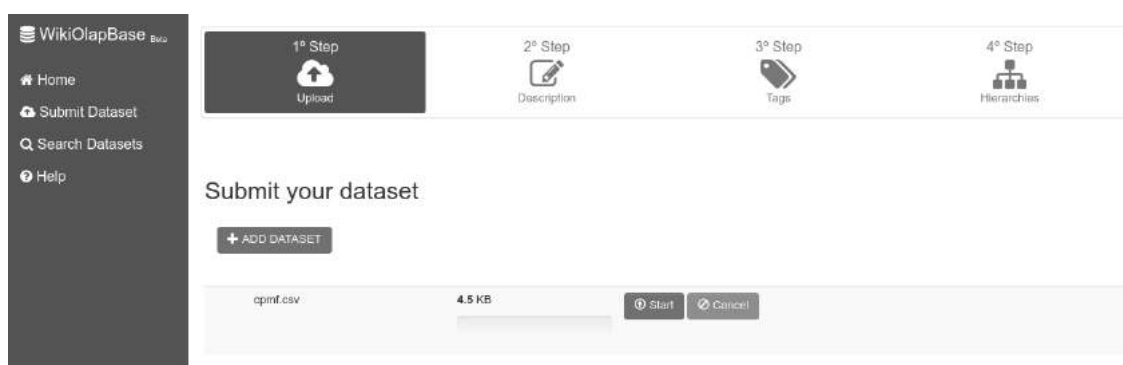


Figura 2. Upload interface - 1st step

From the data sent, the user must fill in the corresponding metadata. As shown in Figs.3, 4 and 5 this procedure encompasses the execution of three steps - although a sequence is suggested, the user can perform in the desired order.



Figura 3. 2nd Step

Following the suggested sequence, basic dataset information such as source, title, and description should initially be filled. This information enables indexing inside the repository, allowing later, other users to search that data.

In sequence, the user can add tags to the columns of the dataset. In addition to helping in data indexing, tags also enable cross-referencing between different datasets, since they allow the discovery of datasets that have attributes in common. If desired, the user can also rename the dataset columns.

Finally, the user can identify data hierarchies within the dataset. This information can be used to generate visualizations that use OLAP operations such as drilling down and up [Graves and Hendler 2013]. In addition, at any time, the tool gives the user a preview of the dataset that he/she is sending, so it is possible to check if there are any errors in the dataset before submitting it.

The screenshot shows a progress bar at the top with four steps: 1º Step (Upload), 2º Step (Description), 3º Step (Tags), and 4º Step (Hierarchies). The 3º Step is highlighted. Below the progress bar, the 'Tags' section contains instructions: 'You can add tags to the columns of your dataset! This helps indexing your dataset in our database. Here you can also edit the column names if you wish, just click on them. Using trendy names makes it easy to search the dataset in our repository.' There are three input fields with labels: 'codigo_ano', 'codigo_mes', and 'receita_bruta'. At the bottom, there are three buttons: 'Dataset Preview', '< Go Back', and 'Next >'.

Figura 4. 3rd Step

The screenshot shows a progress bar at the top with four steps: 1º Step (Upload), 2º Step (Description), 3º Step (Tags), and 4º Step (Hierarchies). The 4º Step is highlighted. Below the progress bar, the 'Data Hierarchy' section contains instructions: 'If there are hierarchical data in your dataset you can define these hierarchies here. If you do not know what data hierarchies are, click here to know more.' There is a '+ Add hierarchy' button. A dashed box contains a form for defining a hierarchy. It has a 'Hierarchy Name' field, a list of items with a minus sign and a question mark icon, including 'receita_bruta' and 'total_revenue'. Below the list are '+ Add Level' and '- Remove hierarchy' buttons. At the bottom, there are three buttons: 'Dataset Preview', '< Go Back', and 'Submit'.

Figura 5. 4th Step

This process of loading and characterizing the dataset by the user enables the integration between the dataset sent by it and others already in the repository. In addition, the conscious filling of the metadata supports the collaborative aspect of the tool, since this enables the reuse of the datasets sent by any user that so wishes. The source code of WikiOlapBase is available at (<https://github.com/pedromb/wikiolapbase>).

The second module of WikiOlapBase provides access to the repository of integrated data through a REST API. This REST API has methods that can be requested to perform operations such as: retrieval of data, retrieval of metadata, and joining between different datasets. Its documentation is available at the address (<http://docs.wikiolapapi.apiary.io/>).

To better illustrate the differences between WikiOlapBase and similar tools presented in the Related Work section, Table 1 shows a comparison between these tools and WikiOlapBase.

Tabela 1. Comparison between the systems found in the literature and WikiOlapBase

Reference	Data Model	Data Access	Data importing format	Users able to send data	Access to other users datasets	Metadata	Cross-referencing datasets ¹
OpenData Vis - Graves and Hendler (2013)	Linked Data	GUI	N/S	N/S	N/S	Yes	No
ODA - Hoxha and Brahaj (2011)	Linked Data	GUI or SPARQL	XML, CSV, text	No	No	Yes	No
Data-Gov Wiki - Ding et al. (2010)	Linked Data	SPARQL web service	CSV	No	No	Yes	No
Many Eyes - Viegas et al. (2007)	Tables/Un-structured text	GUI	Tab delimited text.	Yes	Yes	Yes	No
Rivet - Tang et al. (2004)	Relational	REST API	CSV, MDX and SQL connections	Yes	No	Yes	No
WikiOlap Base	Column-family	REST API	CSV	Yes	Yes	Yes	Yes

WikiOlapBase has two distinguishing features in relation to the previous tools, the first being its collaborative aspect, as the loading and characterization of the datasets are carried out by the users themselves. The second feature is the possibility of relating and joining different datasets that are available in the repository. One aspect to be improved in WikiOlapBase is the availability of submitting data in different formats, since the initial version only allowed CSV files.

WikiOlapBase was evaluated for its usability to verify its suitability for use by the target audience. The methodology and main results of this evaluation are presented in the next section.

¹Using data sent by other users

5. WikiOlapBase Evaluation

WikiOlapBase has been evaluated from the perspective of users regarding usability and collaboration. To that end, we conducted a Usability Test [Rubin and Chisnell 2008]. This test consists of an evaluation method that involves the participation of users in a controlled environment and involves the following phases: preparation, execution, and analysis [Rubin and Chisnell 2008].

The preparation phase is subdivided into the following steps: (1) determining the test objectives; (2) definition of the tasks to be performed; (3) selection of participants; (4) considerations about ethical aspects; and (5) execution of the pilot test. These steps generate artifacts that are subsequently used during the execution step of the Usability Test [Rubin and Chisnell 2008].

The execution represents the phase in which the evaluation of the system happens from the perspective of users. The evaluator conducts this phase, following the steps: (1) receiving the user; (2) presentation of the system; (3) the consent of the users, using the consent term; (4) pre-test questioning; (5) observation of tasks performed by users and (6) interview or post-test questionnaire [Rubin and Chisnell 2008]. In the third phase of the method, the data collected is analyzed by the evaluator [Rubin and Chisnell 2008].

Having exposed how the Usability Test is conducted, we now report how the evaluation of WikiOlapBase was carried out. In the preparation phase, after establishing the goal of the test (i.e., evaluating the usability and collaboration mechanisms of WikiOlapBase), the artifacts that would be used during the evaluations were developed. They are: the evaluation script, the participation consent term, the task description scenarios, the evaluation control sheet and the questionnaire regarding the degree of usability and collaboration of the tool [Rubin and Chisnell 2008].

With regards to the tasks, it is important to emphasize that the main interaction scenarios with WikiOlapBase were taking into account: (T1) Learning to use the tool from the instructions presented in the help section; (T2) Sending a dataset in CSV format; (T3) Observing the preview of the dataset; (T4) Filling in the basic information regarding the dataset; (T5) Defining tags for the columns of the uploaded file and renaming them; (T6) Defining a data hierarchy within the dataset; (T7) Submitting the metadata; (T8) Checking that the dataset was included in the repository using the search feature; (T9) Using the available API to retrieve the data that was sent and generate visualizations and; (T10) Using the API to join two distinct datasets and to generate visualizations.

From these tasks three different scenarios were defined, that involved one or more tasks: (C1) Send and generate the visualization of a dataset. This scenario (C1) involves tasks T1 to T9; (C2) Send a dataset and cross-reference that dataset with another already in the repository to generate a visualization. This scenario (C2) demands the execution of tasks T1 to T8, and T10 and; (C3) Use two datasets already in the repository and generate a visualization from them. This scenario (C3) involves performing T10. The users used two test datasets, these datasets were made available previously.

The execution phase of the usability test of WikiOlapBase was attended by 6 users. Of these, 5 were professionals in the area of computing (Computer Engineering or Information Systems), the last one had a degree in Mechanical Engineering. All of them worked with software development and had experience with data mining, analysis,

and visualization. It is important to emphasize that this amount of users taking part in the evaluation is justified, since according to Nielsen (2000) [Nielsen 2000] and Rubin and Chisnell (2008)[Rubin and Chisnell 2008], usability tests must be executed by 3 to 5 users.

Each proposed scenario was tested by two different users. For each task performed by a user, the evaluator considered the time spent in its execution and, moreover, observed and noted how the task was completed (i.e., completed without error, completed with error, or not completed). It was not allowed, during the execution, that the evaluator answered questions related to the interface, or to some functionality of WikiOlapBase. This type of question would be answered only in the period after each task, when the doubts, difficulties, and suggestions of the users would also be discussed [Rubin and Chisnell 2008].

The Usability Tests, with the 6 users, took place in a period of 3 days, between September 27 and 29, 2016. Each test was performed individually and had a maximum duration of one hour. From the obtained data, the results were analyzed in order to characterize the indicators of completion of the tasks by the users; the mean elapsed time for each of the tasks as well as the overall mean time (i.e., average completion time of a scenario); and the degree of adequacy of WikiOlapBase to the principles of usability and collaboration. Through these measures it was possible to characterize the usability and collaboration of WikiOlapBase from the perspective of its users. The results obtained are discussed below.

5.1. Discussion of Results

Regarding the execution of the tasks, the graph in Fig. 6 shows the percentage of completion of each task. It is possible to check that all the tasks were completed by the users, with only 20% finished with an error.

Table 2 shows the execution time of each of the tasks by the users and the average time spent. It also displays the total execution times of tasks for each user (U). Users U1 and U2 performed scenario C1 while, users U3 and U4 performed scenario C2 and users U5 and U6 executed scenario C3. In this way it was also possible to calculate the average time per scenario. C1 was found to have an average running time of 11 minutes and 44 seconds, while the mean time to complete C2 was 12 minutes and 01 second, and the mean time to complete C3 was 05 minutes and 25 seconds.

Task T1 presented a similar execution time among most users. This task involves accessing the instruction page of the tool to learn about its operation. Although this task did not generate difficulties or doubts, it was possible to realize that most users prefer to learn how to use the tool during the execution itself. This explains the discrepancy that occurred, because a user was more interested in understanding the instructions on how to use the tool before actually exploring it. The task T2 was executed without problems and without great variation of time between the users.

Task T3 presented a small variation in execution times between users. In this task users should check the dataset sent from the "preview" functionality. During the evaluation, 3 users reported difficulties in locating this functionality and, in addition, presented suggestions for improvements in the visibility of this function. Although this

has been considered a cosmetic problem, the suggestions pointed out by users will be implemented in the next version of WikiOlapBase.

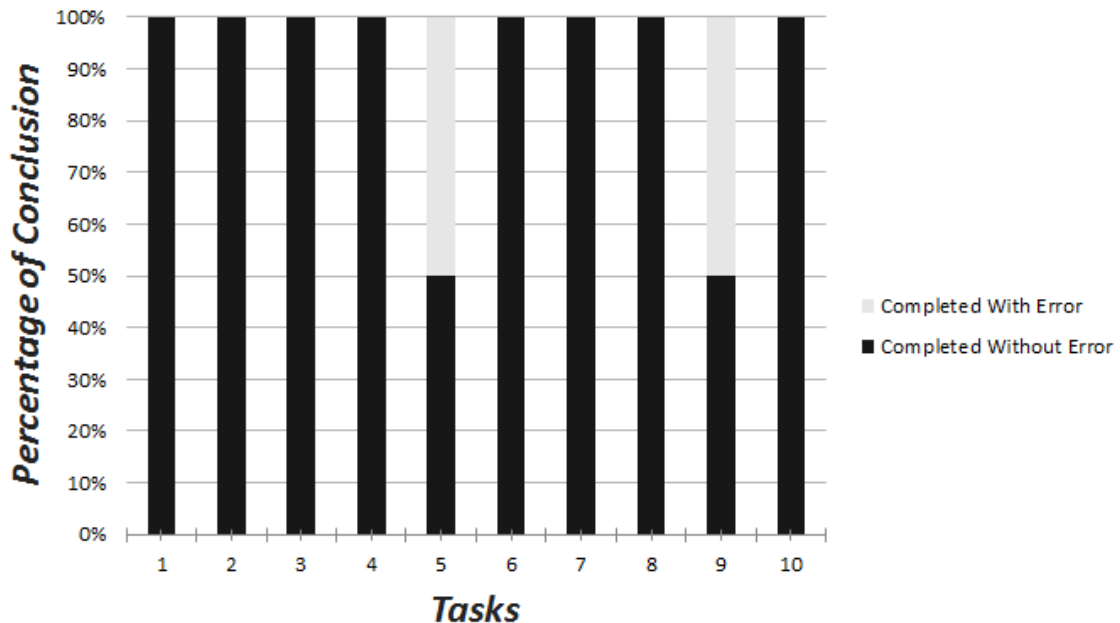


Figura 6. Percentage of completion of tasks by users.

In turn, in the execution of task T4 there was no doubt or difficulty. A task that presented great variation between the execution times was T5, in addition it was concluded with error by 2 users. In this task, users should insert tags for each column of the dataset sent and rename their columns. The errors occurred for two reasons: (1) the possibility of editing the column names and how to do this modification were unclear to users in the interface, and (2) the process of assigning tags was considered confusing by a user.

In the execution of tasks T6, T7, T8 and T10 there were no problems. Task T9 was completed with error by a user. In this task, the users should use the available API to retrieve the sent dataset and create a visualization. One possible explanation for the results obtained in this task is the lack of user experience in the use of web services. However, it is important to note that the WikiOlapBase (WOB) architecture will have integration with other data visualization tools. Therefore, direct access to this API by a user is not necessary, since the creation of visualizations, from the data available in the tool, will be executed through a graphical user interface (GUI) in future versions.

As mentioned before, after performing the tasks, each user evaluated the tool from the perspective of the 07 usability principles [Nielsen 1994], besides the 02 collaboration principles defined specifically for this tool, (1) passive collaboration and (2) active collaboration. The term passive collaboration refers to the possibility of using an existing dataset, that is, the degree to which the system allows users to use data sets that have been sent by other users. The term active collaboration refers to the possibility of sending a dataset so another person can use it.

The answers were grouped according to the interaction scenario that the user

performed. Figure 7 summarizes the answers from the users who performed scenario C1, Fig. 8 from the users who performed scenario C2 and Fig. 9 from the users who performed the C3 scenario.

Tabela 2. Time elapsed in minutes for each task

Task	Scenario 1		Scenario 2		Scenario 3		Total Number of Users	Average Time	Standard Deviation
	U1	U2	U3	U4	U5	U6			
T1	01:07	03:09	01:56	01:20	00:00	00:00	4	01:53	00:55
T2	00:18	00:31	00:27	00:20	00:00	00:00	4	00:24	00:06
T3	01:18	00:40	00:29	00:15	00:00	00:00	4	00:40	00:27
T4	01:22	01:01	00:51	01:38	00:00	00:00	4	01:13	00:21
T5	02:23	00:36	01:18	02:01	00:00	00:00	4	01:34	00:47
T6	02:06	00:41	02:07	00:57	00:00	00:00	4	01:27	00:45
T7	00:24	00:04	00:10	00:05	00:00	00:00	4	00:10	00:09
T8	00:52	00:35	01:13	01:29	01:11	00:54	6	01:02	00:19
T9	03:18	03:04	00:00	00:00	00:00	00:00	2	03:11	00:10
T10	00:00	00:00	03:35	03:52	04:33	04:13	4	04:03	00:25
Total	13:08	10:21	12:06	11:57	05:44	05:07	-	-	-

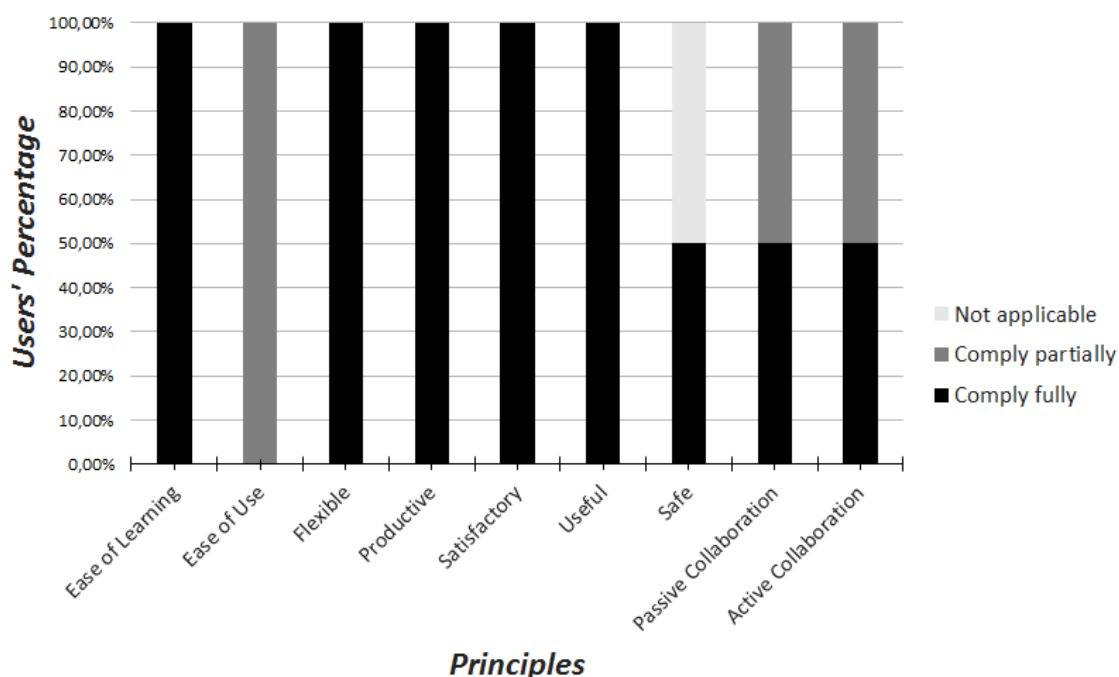


Figure 7. Degree of suitability of WOB, by principle of usability and collaboration in the users' perspective - Scenario C1

From the presented data it is possible to observe that, in the three scenarios, no principle was judged as "does not comply" from the perspective of users. In other words, for all users, all principles are either met or not applicable. It was possible to notice that for 66.67% of users, WOB fully complies with the principle of ease of learning and for

16.67% WOB fully complies with the principle ease of use. This indicates that learning how to use WOB is a simple task.

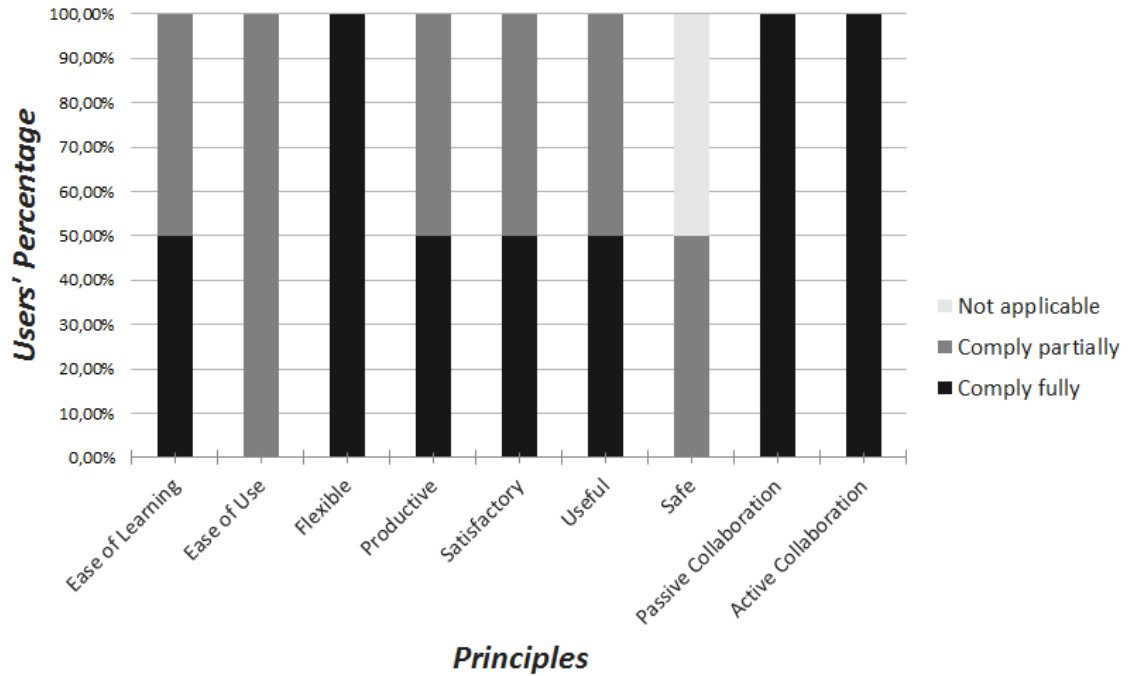


Figura 8. Degree of suitability of WOB, by principle of usability and collaboration in the users' perspective - Scenario C2

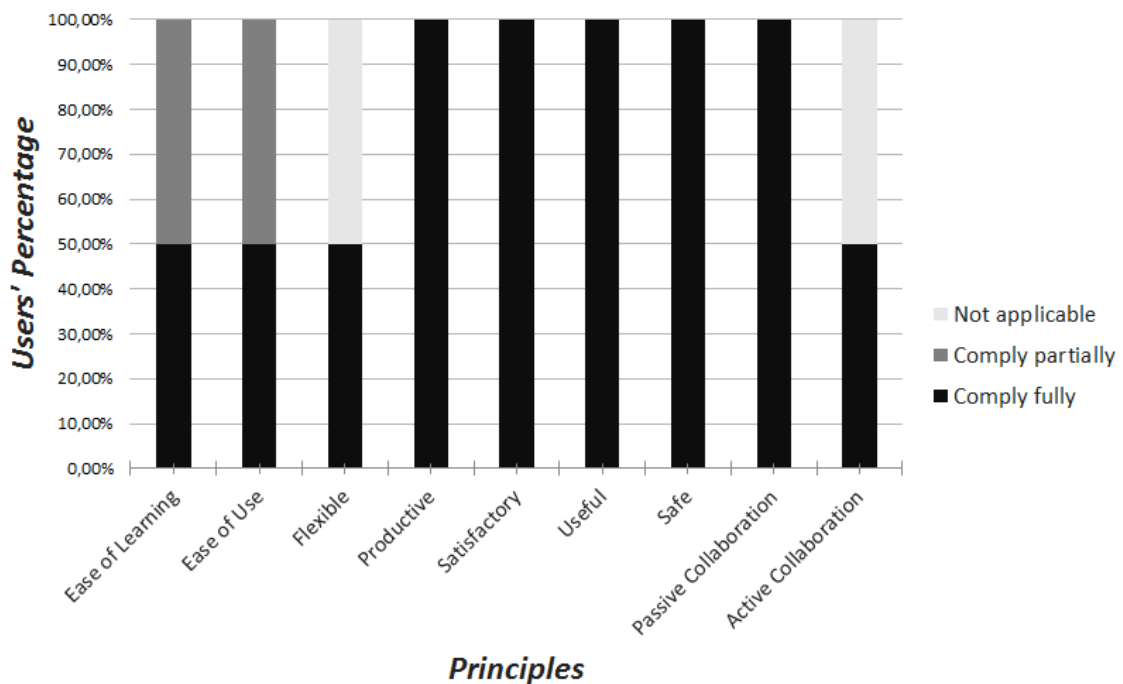


Figura 9. Degree of suitability of WOB, by principle of usability and collaboration in the users' perspective - Scenario C3

It is also possible to note that three principles were judged to be inapplicable. In scenario C1 and C2 was the principle "Safe". According to users, this principle did not apply to these scenarios because the tool is open to any interested users. In scenario C3 users judged that the principles "Flexible" and "Active Collaboration" did not apply. This scenario involves only the search for two datasets already in the repository and the use of the API to join the data, thus not involving alternative paths or sending datasets for other users to see. This explains the interpretation by the users when answering that these principles do not apply.

Although there are adjustments to be implemented, through the tests with users it was possible to demonstrate that WikiOlapBase is suitable for use. This is corroborated by the speech of users throughout the tests, which approved the objective of the tool, as well as its flow of execution.

The next section presents our conclusions, as well as future work.

6. Conclusions and Future Work

This paper presented WikiOlapBase, a collaborative tool that allows processing, integration and cross-referencing of open data from different sources.

This tool allows (1) the insertion of large data from different sources, (2) data integration and manipulation from different sources through filter, cluster and join operations and (3) availability of processed and integrated data in a single format so that it can be consumed by data visualization and analysis tools.

In addition, WikiOlapBase features a robust architecture designed to support open data visualization systems and to extend collaboration capabilities beyond the generation and analysis of those visualizations. The results obtained, from the Usability Test, show that WikiOlapBase is a useful tool, satisfactory and suitable for users.

The proposed tool helps interested users to collaborate to process, integrate and cross-reference open data of interest. In a complementary way, WikiOlapBase can support the expansion of open data analysis, thus contributing to a greater information sharing and knowledge dissemination [Graves and Hendler 2013], [Hilbert 2013].

A second phase is planned as future work, in which a tool for open data visualization will be developed and integrated with WikiOlapBase. In addition, it would be interesting to conduct comparative analyzes to outline the advantages and disadvantages of WikiOlapBase over other existing tools.

Referências

- De Diana, M. and Gerosa, M. A. (2010). Nosql na web 2.0: Um estudo comparativo de bancos não-relacionais para armazenamento de dados na web 2.0.
- Ding, L. et al. (2010). Data-gov wiki: Towards linking government data.
- Graves, A. and Hendler, J. (2013). Visualization tools for open government data. In *Proceedings of the 14th Annual International Conference on Digital Government Research*, dg.o '13, pages 136–145, New York, NY, USA. ACM.
- Gupta, P. et al. (2012). Utilizing asp.net mvc in web development courses. *J. Comput. Sci. Coll.*, 27(3):10–14.

- Hilbert, M. (2013). *Big data for development: From information-to knowledge societies*.
- Hoxha, J. and Brahaj, A. (2011). Open government data on the web: A semantic approach. In *Emerging Intelligent Data and Web Technologies (EIDWT), 2011 International Conference on*, pages 107–113. IEEE.
- Kolaczkowski, P. (2014). Lightning fast cluster computing with spark and cassandra. Presentation at the CodeMesh-London event, available at <https://www.infoq.com/presentations/spark-cassandra>, visited in 18-October-2016.
- Maleshkova, M. et al. (2010). Investigating web apis on the world wide web. In *Web Services (ECOWS), 2010 IEEE 8th European Conference on*, pages 107–114.
- Moniruzzaman, A. and Hossain, S. A. (2013). Nosql database: New era of databases for big data analytics-classification, characteristics and comparison. *arXiv preprint arXiv:1307.0191*.
- Nielsen, J. (1994). Usability inspection methods. In *Conference companion on Human factors in computing systems*, pages 413–414. ACM.
- Nielsen, J. (2000). Why you only need to test with 5 users. [Online; visited 23-October-2016].
- Plekhanova, J. (2009). Evaluating web development frameworks: Django, ruby on rails and cakephp. *Institute for Business and Information Technology*.
- Rubin, J. and Chisnell, D. (2008). *Handbook of usability testing: how to plan, design and conduct effective tests*. John Wiley & Sons.
- Sagiroglu, S. and Sinanc, D. (2013). Big data: A review. In *Collaboration Technologies and Systems (CTS), 2013 International Conference on*, pages 42–47. IEEE.
- Sorjonen, S. (2012). Olap query performance in column oriented databases.
- Tang, D. et al. (2004). Design choices when architecting visualizations. *Information Visualization*, 3(2):65–79.
- Turner, T. (2002). What is metadata. *Kaleidoscope*, 10(7):1–3.
- Vaz, J. C. et al. (2010). Dados governamentais abertos e seus impactos sobre os conceitos e práticas de transparência no brasil. *Cadernos ppg-au/ufba*, 9(1).
- Viegas, F. B. et al. (2007). Manyeyes: A site for visualization at internet scale. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 13(6):1121–1128.

Estudo e Implementação de Técnicas de Motivação no Moodle

Samanta F. Aires¹ Jair C. Leite^{1,2}

¹Instituto Metrópole Digital – Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)
Caixa Postal 1524 – 59.078-970 – Natal – RN – Brasil

²Departamento de Informática e Matemática Aplicada – Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)
Caixa Postal 1524 – 59.078-970 – Natal – RN – Brasil
jair@dimap.ufrn.br, samantaferaires@gmail.com

Abstract. *One of the greatest issues faced by distance education is a lack of interaction among students and among them and their teachers/tutors. Virtual learning environments (VLE) have emerged in an attempt to improve this problem with interaction tools such as forums and chats. Nevertheless, even with these tools, there is still no great interactivity among users of these environments. Therefore, in this project, we present the stages of study, formulation, implementation and results of the application of some techniques of motivation based on rewards and recognition, that aim to increase a collaboration and participation of the students within VLE Moodle of a technical course. We evaluate the impact of the techniques by directly assessing the use of the system to read and write in the discussion forums. As a conclusion, we discuss the results and we point how the use of such techniques requires a very well planning, particular in the education domain.*

Resumo. *Um dos maiores problemas enfrentados pela Educa o a distância,   a falta de intera o entre os alunos, e entre eles e seus professores/tutores. Os ambientes virtuais de aprendizagem (AVAs) surgiram na tentativa de melhorar esse problema através de ferramentas de intera o, como os fóruns e os chats. Entretanto, mesmo com essas ferramentas, ainda vemos que não há grande interatividade entre os usuários desses ambientes. Dessa forma, neste projeto, apresentamos as etapas de estudo, formula o, implanta o e resultados da aplica o de algumas técnicas de motiva o baseadas em recompensas e reconhecimento, que objetivam aumentar a colabora o e participa o dos alunos dentro do AVA Moodle de um curso técnico. O impacto das técnicas foram avaliadas pela análise do uso do sistema para postar e comentar nos fóruns de discussão. Ao final, discutimos os resultados e indicamos que o uso destas técnicas, particularmente em ambientes de ensino, precisa ser bastante planejado.*

1. Introdu o

A Educa o   Distância (EAD) ganha cada dia mais força e difere-se das metodologias tradicionais de ensino, com o aprendizado baseado no autodidatismo e na

autodisciplina, mas apresentando baixa interatividade entre os alunos, com poucas possibilidades de troca de informação entre aprendizes e tutores [Knihs,2007].

A interação e a colaboração são fatores de extrema importância nos cursos à distância, e a sua prática deve ser estimulada no ambiente virtual, para que os alunos possam organizar suas ideias e compartilhar seus conhecimentos, tornando-se assim sujeitos autônomos de sua aprendizagem [Mehlecke e Tarouco 2011]. Hamari e Koivisto (2013) afirmam que as interações mantidas entre os indivíduos são fatores motivacionais para alguns deles. Isso se deve ao fato de que algumas pessoas acreditam que os outros esperam que elas se comportem de determinada maneira. Tipicamente, pessoas sentem-se recompensadas quando correspondem a essas expectativas, pois suas ações foram socialmente aceitas, e geraram um reconhecimento positivo.

Aplicando esse conceito na EAD, os ambientes virtuais de aprendizagem, tais como o Moodle, oferecem recursos para promover a interação e a colaboração entre os estudantes. Ferreira (2013) afirma que as ferramentas oferecidas pelos AVAs, propiciam a construção do conhecimento coletivo através da comunicação e interação, consideradas atitudes que estimulam os alunos.

Mesmo sendo de extrema importância, a interação e a colaboração entre os alunos de um curso a distância é muito baixa, o que contribui para que o número de evasão seja grande. Isso foi constatado no caso do uso do Moodle em cursos técnicos de Tecnologia da Informação para alunos de 15 a 20 anos, oferecidos pelo Instituto Metrópole Digital, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

Para tratar deste tipo de problema, os sistemas colaborativos buscam formas de motivar seus alunos a colaborarem através de estratégias e técnicas de motivação. Por exemplo, as ferramentas de ensino de idiomas Livemocha (livemocha.com) e Busuu (busuu.com), fazem uso de elementos da gamificação para isso.

A gamificação, que é a utilização de elementos de design de jogos em contextos não relacionados a jogos [Deterding 2011], é uma técnica de motivação que está sendo aplicada nos mais diversos domínios. Um dos principais campos de experimentação dessa técnica é a educação. Fardo (2013) considera a gamificação como uma área bastante fértil de aplicação na educação, visto que propõe novas estratégias para dar conta de aprendizes que estão cada vez mais inseridos no contexto das mídias e das tecnologias digitais e se mostram desinteressados pelos métodos passivos de ensino utilizados no cotidiano escolar.

No entanto, apesar da utilização em vários softwares educacionais, pouco se tem visto da utilização dessa técnica em ambientes virtuais de aprendizagem [Alves 2013]. Isto se deve ao fato de que são necessários critérios bem definidos na escolha dos elementos dos games que sejam apropriados aos diversos segmentos de atividades pedagógicas no intuito de chamar a atenção e motivar o usuário [Roque 2013] a colaborar dentro do sistema.

A gamificação vem ganhando força, mas ela não é a única técnica de motivação existente. Algumas outras técnicas sobre reconhecimento e reciprocidade [Hamari e Koivisto 2013], também podem ser aplicadas nos sistemas educacionais. Essas técnicas baseiam-se principalmente na afirmação de que quando um usuário recebe um retorno

(*feedback*) positivo, ele sente-se motivado a também dar retornos sobre as ações dos outros usuários, expandindo dessa forma a interação e a colaboração dentro dos AVAs, essenciais ao ensino à distância. Nesse projeto, separamos as técnicas estudadas em duas categorias: técnicas baseadas em recompensas (gamificação) e técnicas baseadas em reconhecimento.

Esse projeto toma como estudo de caso o AVA Moodle, modificado para atender ao curso técnico semipresencial de Tecnologia da Informação do Instituto Metrópole Digital (IMD) da UFRN. Esse ambiente já oferece alguns mecanismos de interação, como fóruns e chats, que podem ser utilizados para a colaboração entre os estudantes e entre eles e tutores. O escopo da nossa pesquisa está limitado à colaboração nos Fóruns do Moodle IMD, os quais possuem baixa utilização como observamos em pesquisa realizada com seus usuários.

Neste artigo, apresentamos resultados de um estudo feito com as técnicas de motivação que foram implementadas no Moodle IMD com o objetivo de verificar o aumento da participação e da colaboração nos fóruns. A seção 2 apresenta alguns trabalhos relacionados que implementaram técnicas semelhantes. A seção 3 introduz os fundamentos teóricos e a seção 4 descreve como as técnicas foram definidas e implementadas no Moodle IMD. As seções 5 e 6 descrevem a metodologia e os resultados do estudo. As conclusões estão na seção 7.

2. Trabalhos relacionados

Diversos projetos vêm sendo desenvolvidos tomando o AVA Moodle como estudo de caso. Esses projetos visam aplicar principalmente mecanismos de gamificação ao ambiente virtual, com o objetivo de motivar os usuários a colaborarem e a se engajarem nas atividades do sistema.

Um desses projetos estudou sobre a possibilidade de aplicação de *badges* (medalhas) ao Moodle, entretanto o estudo não foi realizado diretamente com os usuários do Moodle, e sim através do autor, que assumiu os diferentes papéis de usuário [Alves 2013]. Outro estudo propõe a implementação de um bloco gamificado, com *rankings*, níveis e barras de progresso, com o objetivo de motivar a resolução de problemas e encorajar a aprendizagem pelos alunos [Roque 2013]. Entretanto, não é explicitado como ou se é realizada a implantação desse bloco ou mesmo os resultados dessa aplicação obtidos junto aos alunos. Verificamos a mesma situação em um terceiro projeto que propõe uma interface gamificada, com o objetivo de engajar mais os usuários no sistema, estimulando-os no processo de educação à distância [Faleiros 2015]. Mas também não vemos a aplicação dessa interface e seus resultados.

Ao analisarmos esses trabalhos verificamos diversas propostas de aplicação de elementos da gamificação ao ambiente Moodle, mas em nenhum dos projetos estudados vimos o processo de implantação ou os resultados obtidos com ela.

Tomando como base as propostas acima e as técnicas de motivação estudadas da literatura, vimos diversas possibilidades de ampliação da interação e colaboração dos alunos do Moodle aqui estudado. Com isso definimos, junto aos responsáveis pelo ambiente virtual e pelos cursos técnicos oferecidos, alguns elementos referentes a essas

técnicas para serem implantados no Moodle, com o objetivo de aumentar a colaboração dentro desse ambiente.

3. Técnicas de motivação

Através de uma pesquisa literária, identificamos a existência de diversas técnicas que estimulam a interação e a colaboração entre indivíduos dentro de um sistema computacional. Fizemos a separação dessas técnicas em duas: *técnicas baseadas em recompensas*, que referem-se ao uso de elementos da gamificação; e *técnicas baseadas em reconhecimento*, em que o usuário recebe *feedbacks* de outros usuários sobre suas ações no sistema.

3.1. Técnicas baseadas em reconhecimento

As técnicas baseadas em reconhecimento estão relacionadas à motivação social, na qual o estímulo do usuário é gerado principalmente através da opinião que os outros têm sobre suas ações. Para esses usuários, o reconhecimento que recebem sobre suas ações dentro do sistema é algo estimulante, principalmente se for positivo, e faz com que queiram também dar seu *feedback* para outros usuários.

Para esse tipo de usuário, as técnicas utilizadas devem ser de caráter social, possibilitando que outros usuários consigam dar *feedbacks* sobre suas ações, como por exemplo, a possibilidade de deixar comentários e “gostar” de alguma ação realizada. Esses são exemplos de duas técnicas de reconhecimento.

Os comentários permitem que usuários expressem melhor sua opinião sobre alguma ação realizada por outro usuário, como por exemplo, deixando sua opinião sobre um conteúdo compartilhado, uma foto, um pensamento, etc. Dessa forma, o usuário que recebe a opinião sobre seu conteúdo fica ciente se aquele tema é socialmente aceito para uso no sistema. Assim, se os comentários forem positivos, então ele sente-se mais estimulado e tenderá a compartilhar mais conteúdos semelhantes, e se os comentários forem negativos, ele hesitará em compartilhar temas semelhantes, buscando temas mais apropriados e interessantes, com o intuito de receber *feedbacks* positivos.

Já a opção *gostar* normalmente é utilizada através de um botão, e possui diversos rótulos, podendo ser gostar, curtir, favoritar, amar, entre outros. O Facebook utilizou o botão *curtir* por muito tempo, mas percebeu que a interação dentro do ambiente ia muito além da opinião de curtir ou não uma publicação, pois seus usuários necessitavam de outras opções que representassem seus sentimentos para com as publicações de seus amigos. Dessa forma, em 2016, foi lançada uma atualização com os botões de reações, adicionando-se as opções para amar, rir, se surpreender, expressar tristeza ou raiva em uma publicação através dos botões *amei*, *haha*, *uau*, *triste* e *grr*, respectivamente. Possibilitando que os usuários deem tanto *feedbacks* positivos, como negativos.

Esses botões de reações podem ter mesma finalidade dos comentários, que é oferecer um *feedback* ao usuário, sendo uma maneira mais rápida de fazer isso, pois nos

comentários ainda toma-se tempo para escrever algo, mas com os botões de reações já existe uma grade de opções simples que representam a opinião dos usuários, que podem apenas clicar na opção que se relaciona a sua opinião.

3.2. Técnicas baseadas em recompensas

As técnicas baseadas em recompensas, como o nome já diz, tem como objetivo recompensar o usuário por uma ação realizada dentro do sistema. Essas recompensas são baseadas nos elementos de jogos, por isso os sistemas baseados nessas técnicas são considerados sistemas gamificados.

Os elementos de recompensas que são mais utilizados são os PBL (*Points, Badges e Leaderboards* ou Pontos, Medalhas e *Rankings*). Esses elementos são implantados nos sistemas com a finalidade de oferecer recompensas aos usuários por ações predeterminadas. Normalmente, as ações que oferecem recompensas são aquelas que devem ser mais realizadas pelos usuários. Por exemplo, o StackOverflow (stackoverflow.com), fórum de discussão sobre desenvolvimento, faz uso dos PBL para recompensar seus usuários quando eles realizam diversas ações dentro do sistema, como elaborar, responder e votar em uma perguntar.

Segundo Grant e Betts (2013), a utilização de elementos de gamificação, como os PBL podem influenciar o comportamento dos usuários, pois muitas vezes suas ações são mudadas apenas para conseguirem ganhar essas recompensas. Entretanto, nem sempre as recompensas trazem resultados positivos para os sistemas aos quais são adicionadas, e por isso devemos sempre analisar qual o objetivo da utilização desse mecanismo, para que sua conquista seja de acordo com o objetivo a ser atingido.

Os pontos são os elementos mais comuns dos jogos e normalmente são acompanhados de outros elementos do tipo recompensa. Quando utilizados dentro de um sistema que não é um jogo, os pontos são dados para tarefas que os administrados desejam que os usuários realizem. Além disso, muitos sistemas fazem uso tanto de pontos positivos, como pontos negativos, que são dados quando o usuário realiza alguma atividade que não deveria dentro do sistema, infringindo alguma regra, por exemplo.

Quando acumulados, os pontos podem gerar outras recompensas, dependendo do sistema, por exemplo, pode-se dar medalhas para o usuário quando ele atingir determinados valores em sua pontuação. As medalhas também são recompensas dadas quando se deseja que o usuário realize determinadas tarefas dentro do sistema. Tomando novamente como exemplo o StackOverflow, esse sistema possui uma complexa distribuição de medalhas. As medalhas são divididas hierarquicamente e são distribuídas aos usuários quando estes realizam tarefas específicas e de acordo com o nível do usuário e da tarefa.

O acúmulo de pontos e medalhas também pode gerar um ranking. Os rankings normalmente são utilizados em um sistema como uma motivação visual para os usuários, apresentando para eles sua colocação em relação aos outros. Esse tipo de

elemento promove a competitividade entre os usuários, além de ser considerado um elemento de grupos [Fardo 2013]. Dessa forma é considerado motivador principalmente para os usuários competitivos, que veem sua posição no ranking como um estímulo para realizar as tarefas que farão com que ele atinja colocações mais elevadas.

4. Aplicação no Moodle IMD

Levando em consideração que o Moodle possui fóruns e a possibilidade de fazer comentários em tópicos desses fóruns, desenvolvemos os botões de reações para que os usuários pudessem também oferecer o *feedback* social de forma mais imediata. Esses botões estão aplicados a todos os fóruns do Moodle, possibilitando que o usuário reaja a um tópico ou comentário publicado, dando assim um retorno mais rápido sobre o conteúdo abordado. Esses botões oferecem sete opções de reação, sendo elas *Obrigado*, *Gostei*, *Não gostei*, *Não entendi*, *Relevante*, *Inadequado* e *Top*, representadas pelos ícones mostrados na Figura 1.



Figura 1. Ícones representando as opções de reações dos botões inseridos nos fóruns.

As escolhas dos botões foram baseadas nos principais comentários deixados pelos alunos nos tópicos vistos numa análise de vários comentários nos fóruns do Moodle. Na Figura 2.a e 2.b, apresentamos a interface dos fóruns antes e depois da implantação dos botões, respectivamente.



Figura 2a. Interface dos fóruns (tópico e comentário) antes da implantação dos botões.



Figura 2b. Interface dos fóruns (tópico e comentário) após a implantação dos botões.

Dois meses após a implantação desses botões aos fóruns, foi adicionado o *ranking*. A contabilização dos pontos para elaborar o ranking foi feita através das reações, em que para cada reação recebida em uma publicação, o autor desta ganha 1 ponto, podendo ser positivo ou negativo, dependendo da reação. As reações Gostei, Obrigado, Relevante e Top geram pontos positivos, enquanto que Não entendi e Inadequado, geram pontos negativos.

A pontuação das reações passou a ser contabilizada desde a implantação delas, mesmo que sem o elemento *ranking* estar visível para os alunos. Assim, quando introduzimos o *ranking* os usuários já possuíam os pontos referentes às suas reações. O *ranking* contabiliza pontos semanais, mensais e um geral, isto é, de todo o período ativo, assim as colocações são mais dinâmicas. Na Figura 3, conseguimos ter uma visão melhor desse elemento adicionado ao Moodle IMD.

Semanal Mensal Geral		
◀ 26/3/2017 a 1/4/2017 ▶		
Minha pontuação no Moodle		
Posição	Nome	Pontuação
-	Samanta Ferreira Aires	-
Posição	Nome	Pontuação
1	Yago Henrique de Oliveira Alves	91
2	@Saulo Alves de Andrade	71
3	Wenderson Matheus dos Santos Soares	63

Figura 3. Ranking adicionado ao Moodle IMD.

O sistema de medalhas e o sistema de pontos mais elaborado ainda serão adicionados ao Moodle, mas já estão definidos e prototipados. As medalhas serão dadas aos usuários que realizarem determinadas tarefas dentro do Moodle, por

exemplo, publicar tópicos, fazer comentários, dar feedback através dos botões, etc. Elas também serão divididas em três categorias: bronze, prata e ouro, e em 5 cinco subcategorias, dependendo da tarefa a ser recompensada. O sistema de pontos será semelhante ao de medalhas, pois os pontos serão dados pela realização de tarefas pré-definidas dentro do sistema e, dependendo da tarefa, esses pontos serão positivos ou negativos. Na Figura 4, apresentamos um protótipo de tela mostrando o perfil do usuário e as medalhas conquistadas por ele.



Figura 4. Protótipo de tela mostrando um perfil de usuário e suas medalhas.

5. Metodologia do estudo

Para avaliar os efeitos das técnicas introduzidas – botões de reação e *ranking* – buscamos identificar, inicialmente através da coleta e análise de dados, se houve alteração na participação dos alunos após a implantação dos botões de reação aos tópicos e comentários dos principais fóruns do Moodle. Avaliamos também o impacto do *ranking* indicando a posição de todos os alunos dentro do ambiente virtual.

Para isso, realizamos a coleta dos dados sobre os logs (acesso dos alunos) do Moodle IMD. O log informa todos os passos dados pelos alunos dentro do ambiente virtual Moodle, bem como os tipos de ações realizadas por eles.

Para verificarmos o nível de colaboração dos alunos, definimos que em nosso estudo a colaboração seria medida pela interação e participação dos alunos nos fóruns e ambiente virtual. Com isso, analisamos a interação e participação como sendo o acesso dos usuários ao Moodle e fóruns desse ambiente; as publicações de tópicos; os comentários feitos nos tópicos; as visualizações dos tópicos; e as reações posteriormente realizadas nesses tópicos.

Após definirmos o que analisar, iniciamos a coleta dos dados. Esses dados foram obtidos pelos logs dos alunos do Módulo Intermediário nos semestres 2015.2 e 2016.2. O Módulo Intermediário é o segundo de três semestres que compõem os cursos técnicos. Dessa forma, conseguimos verificar um período de aulas completo, visto que a cada semestre os alunos mudam de turma e de módulo.

No semestre de 2015.2, as turmas do Módulo Intermediário totalizavam 758

alunos. E em 2016.2 totalizam 763. Os alunos desse módulo cursam 12 disciplinas distintas específicas da ênfase escolhida, podendo ser essa Automação e Eletrônica, Redes, Web; e Jogos; Entretanto, apenas três das doze são disciplinas comuns para todas as ênfases, ou seja, todos os alunos do módulo as cursam.

Escolhemos dois semestres distintos, pois em 2015 ainda não havia sido implantada as técnicas, e dessa forma poderíamos analisar o comportamento dos usuários nos fóruns das disciplinas antes e depois das técnicas.

6. Análise e Resultados

A análise do semestre 2015.2 teve como objetivo a verificação dos padrões encontrados nas ações dos alunos dentro do sistema. Já a análise de 2016.2 englobou três estágios distintos, o primeiro mês sem as reações, o segundo e terceiro mês já com o uso das reações e os últimos meses com o uso do *ranking*. Com a análise desse semestre, buscamos verificar os mesmos dados já analisados no ano anterior, para verificar se houve ou não aumento da interação entre os alunos após a implantação das técnicas. E também realizamos algumas análises específicas sobre o uso das reações.

As análises foram feitas em cima dos fóruns das disciplinas. Cada disciplina possui no mínimo dois fóruns, sendo o Mural de Notícias e o Laboratório de Ideias. Entretanto, se desejar, o tutor pode criar outros fóruns. As disciplinas que escolhemos analisar inicialmente, possuem apenas esses dois fóruns, mas os alunos utilizam apenas o Laboratório de Ideias. Dessa forma, os resultados apresentados abaixo referem-se apenas ao fórum Laboratório de Ideias de cada disciplina.

Com a investigação sobre o número de acessos, pudemos verificar alguns padrões, por exemplo, em quais dias o ambiente virtual é mais acessado; quais os fóruns mais acessados e em quais dias. Esses dados são importantes para a pesquisa, pois com eles podemos levantar algumas hipóteses sobre o uso do ambiente pelos alunos. Nos gráficos 1 e 2 abaixo apresentamos o acesso de duas disciplinas disponibilizadas entre julho e setembro no semestre de 2015.2, sem os botões e no semestre 2016.2, após a implantação dos botões.

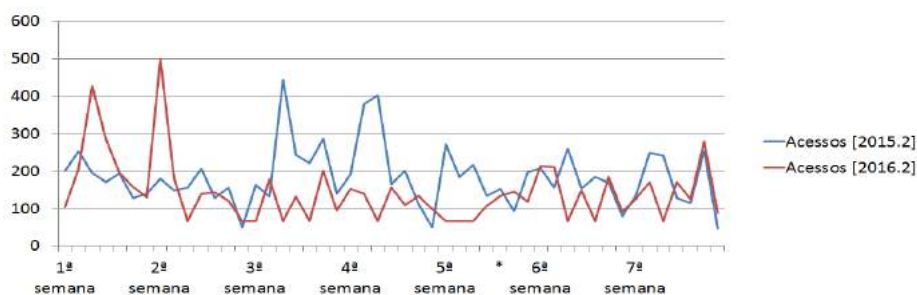


Gráfico 1. Gráfico comparando o número de acessos da disciplina de Inglês Técnico 2 durante os semestres 2015.2 e 2016.2.

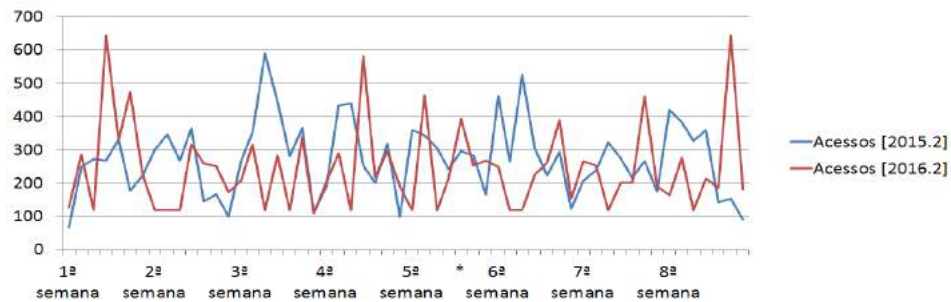


Gráfico 2. Gráfico comparando o número de acessos da disciplina de Programação Estruturada durante os semestres 2015.2 e 2016.2.

Com a análise dos resultados, que pode ser vista nos gráficos acima, verificamos que o número de acessos aos fóruns dessas disciplinas não sofreram mudança significativa após a introdução dos botões de reações aos fóruns. O asterisco representa o dia da implantação dos botões. Já os gráficos 3 e 4 abaixo apresentam o comparativo dos acessos de três disciplinas após a introdução do bloco de *ranking* ao sistema Moodle.

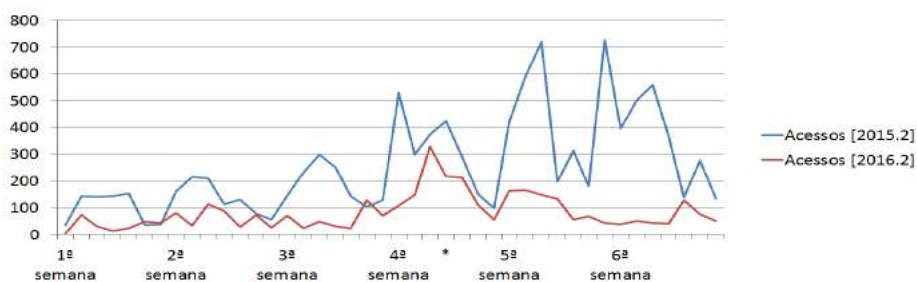


Gráfico 3. Gráfico comparando o número de acessos da disciplina de Desenvolvimento Desktop durante os semestres 2015.2 e 2016.2.

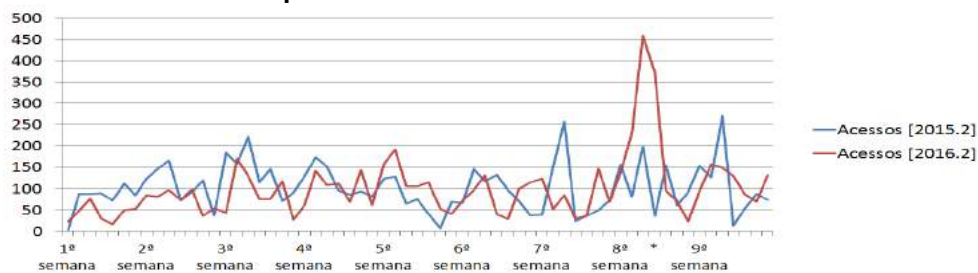


Gráfico 4. Gráfico comparando o número de acessos da disciplina de Autoria Web durante os semestres 2015.2 e 2016.2.

Verificando os acessos das disciplinas após a introdução do *Ranking*, também não detectamos mudança significativa no número de acessos aos fóruns, como vimos nos gráficos acima. O asterisco representa o dia da adição do *Ranking* em 2016.2 e, analisando o gráfico percebemos um pico no acesso desse dia, mas logo em seguida o número de acessos volta ao padrão.

O estudo sobre as publicações de tópicos e os respectivos comentários para cada tópico foi importante para verificarmos de fato a interação e participação dos alunos. Com esses dados pudemos analisar padrões sobre o dia em que há mais tópicos publicados e o dia em que há mais comentários, bem como se as publicações são

realizadas por alunos distintos, ou se apenas um grupo participa, entre outras análises. Os gráficos 5 e 6 representam o número de publicações em algumas disciplinas antes e depois da implantação dos botões. Os gráficos 7 e 8 mostram o número de publicações antes e após a adição do Ranking.

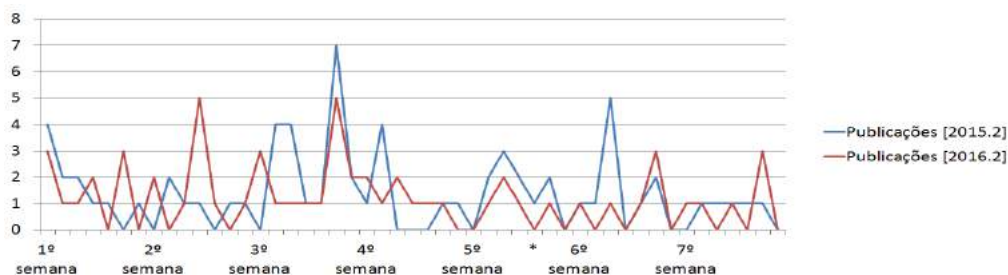


Gráfico 5. Gráfico comparando o número de publicações da disciplina de Inglês Técnico 2 durante os semestres 2015.2 e 2016.2.

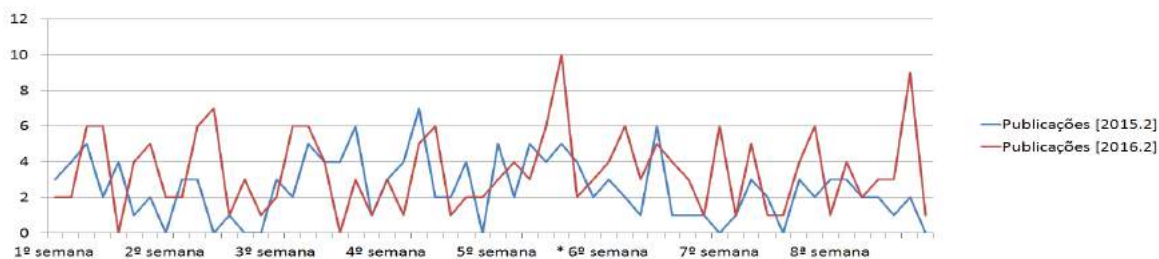


Gráfico 6. Gráfico comparando o número de publicações da disciplina de Programação Estruturada durante os semestres 2015.2 e 2016.2.

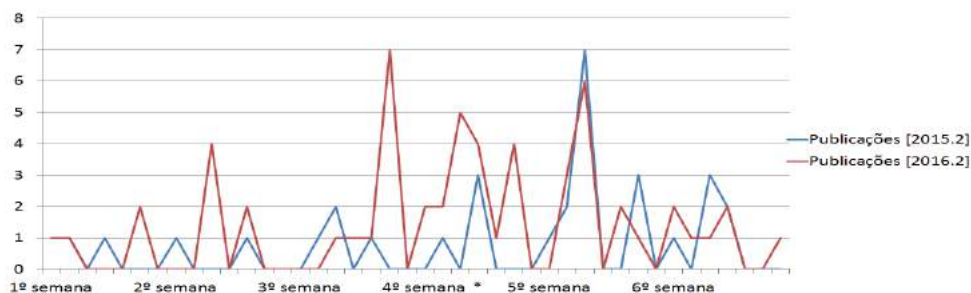


Gráfico 7. Gráfico comparando o número de publicações da disciplina de Desenvolvimento Desktop durante os semestres 2015.2 e 2016.2

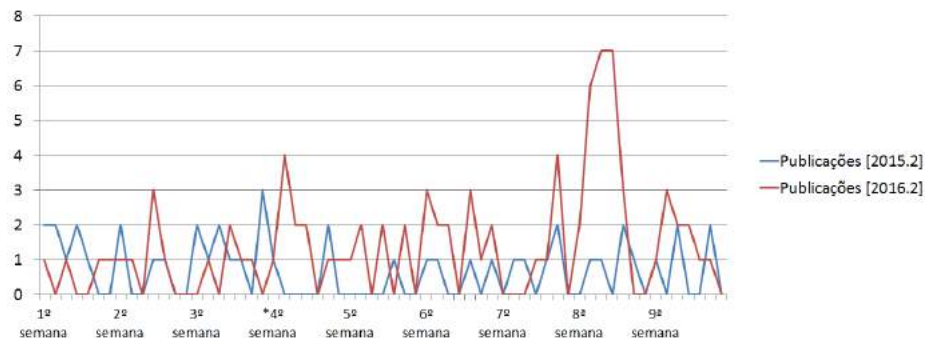


Gráfico 8. Gráfico comparando o número de publicações da disciplina de Autoria Web durante os semestres 2015.2 e 2016.2.

Pela análise dos resultados, com alguns sendo apresentados nos gráficos 5, 6, 7 e 8, verificamos que também não há aumento significativo no número de publicação de tópicos nos fóruns após a adição dos botões e do ranking. Podemos ver que o número de publicações se manteve baixo (entre 1 e 3), mas com alguns picos que não estão relacionados aos elementos adicionados.

Uma das análises mais importantes foi do número de comentários. Na etapa de observação verificamos que os alunos costumavam fazer comentários irrelevantes ao conteúdo publicado e a disciplina, por exemplo, abrindo tópicos com “Bom dia, boa tarde, etc”, escrevendo comentários apenas com “valeu, obrigado, top”. Então esperávamos que, com a adição dos botões de reação, o número de comentários nos tópicos diminuísse, pois esses comentários irrelevantes seriam substituídos pelos botões. Nos gráficos 9 e 10 abaixo apresentamos o comparativo do número de comentários antes e depois da introdução dos botões de reações.

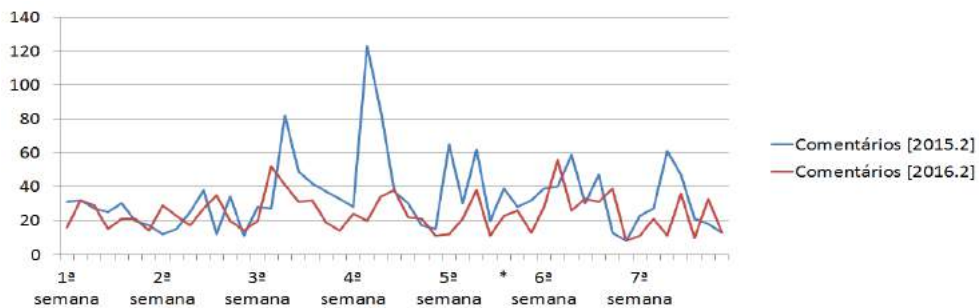


Gráfico 9. Gráfico comparando o número de comentários da disciplina de Inglês Técnico 2 durante os semestres 2015.2 e 2016.2.

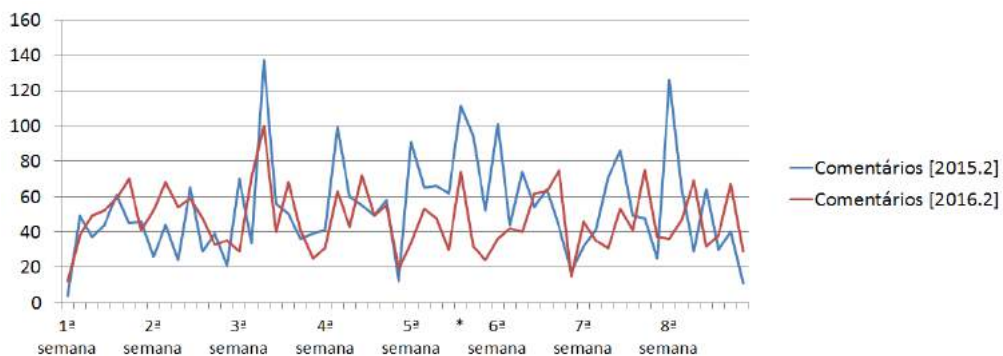


Gráfico 10. Gráfico comparando o número de comentários da disciplina de Programação Estruturada durante os semestres 2015.2 e 2016.2.

Analisando os comentários, verificamos que também não houve mudanças significativas no número de comentários após a introdução das reações.

Entretanto, quando analisamos o uso das reações, afim de validarmos se os alunos realmente estavam utilizando essa ferramenta, verificamos que elas estão sendo bastante utilizadas, mas que seu uso elevado não diminuiu a quantidade de comentários (gráfico 11), e nem mesmo modificou o tipo de conteúdo dos comentários.

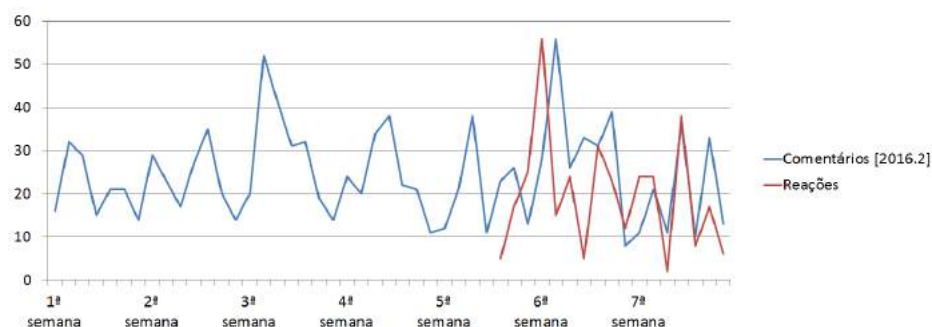


Gráfico 11. Gráfico comparando o número de comentários e de reações da disciplina de Inglês Técnica 2 durante o semestre de 2016.2.

No gráfico 12, verificamos quais as reações mais utilizadas e vemos que o botão “gostei” é o mais usado pelos alunos.

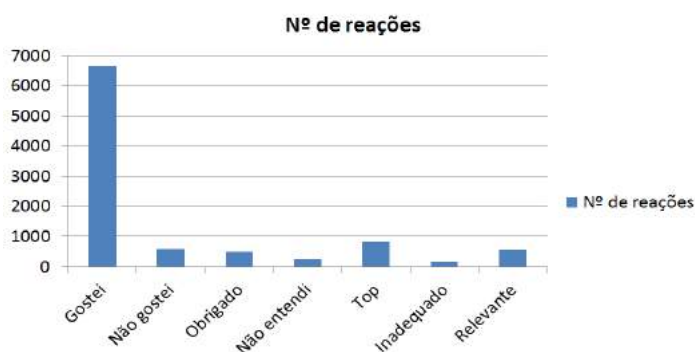


Gráfico 12. Gráfico representando o uso das reações.

7. Discussão e Conclusão

Neste artigo mostramos que no contexto de estudos voltados para o estímulo à colaboração e a interação de usuários em sistemas colaborativos, alguns projetos tem como objetivo o uso de mecanismos para motivação de usuários em sistemas no domínio da EAD, como o Moodle.

Neste projeto, em particular, nosso objetivo foi investigar a aplicação de técnicas de motivação que poderiam ser utilizadas para aumentar a interação e a colaboração entre usuários de um sistema. Tomamos então como estudo de caso o Moodle IMD, utilizado pelos cursos técnicos do Instituto Metrópole Digital, da UFRN, e realizamos estudos focados nesse domínio.

Nosso projeto aplicou *Técnicas baseadas em reconhecimento e Técnicas baseadas em Recompensas* com o objetivo de verificar o aumento da colaboração entre os estudantes. As técnicas baseadas em reconhecimento utilizadas foram os comentários e os botões de reações. Também definimos um sistema de pontos, medalhas e *rankings*, que são elementos de recompensa. Nesta pesquisa, apenas parte do sistema de pontos e um *ranking* foi adicionado.

Nosso estudo mostrou que a aplicação das técnicas não resultou em uma maior interatividade dos alunos usuários do Moodle. Vimos que, mesmo com a adição dos botões e do *ranking*, não houve aumento de publicações e acessos aos fóruns e nem a diminuição de comentários. Apenas as reações estão sendo bastante utilizadas. Esperava-se um aumento expressivo do uso do sistema tal como ocorre com o interesse dos estudantes pelas redes sociais que já havia sido detectado em um estudo anterior. Entretanto, não conseguimos um resultado que confirmasse essas expectativas. Ao mesmo tempo, não podemos afirmar que é um resultado negativo.

Sabemos que esses elementos são considerados fatores motivacionais, mas a aplicação deles deve sempre estar de acordo com os objetivos do sistema, principalmente quando falamos de fóruns e dos botões de reações. Esses elementos devem estar especialmente relacionados ao domínio do sistema. Além disso, cada um oferece vantagens e desvantagens quanto a sua utilização e, deve-se escolher qual melhor se aplicaria ao seu sistema, podendo-se utilizar apenas um, ou o conjunto.

O que podemos interpretar dos resultados é:

- Um AVA como o Sistema Moodle não é uma rede social e não se pode afirmar que o que funciona nas redes terá o mesmo efeito num sistema de EAD.
- Os elementos de gamificação (*ranking* e pontuação) que introduzimos não surtiram o efeito desejado neste estudo inicial. Vamos continuar os resultados e realizar alterações, além de introduzir medalhas. Dentre as alterações futuras espera-se associar a pontuação não apenas com a participação social, mas com aspectos relacionados à aprendizagem.
- A introdução das técnicas escolhidas não fizeram alterações significativas no design de interação do Moodle que já existia. Por exemplo, não foram alteradas as salas e os fóruns. Precisamos considerar que as técnicas poderiam ser melhor aplicadas com alguns ajustes nos fóruns existentes e outras mudanças na interface.

O importante do nosso estudo é desmitificar fatos de que técnicas como a gamificação ou mesmo a aplicações dos botões que deram certo no Facebook são soluções imediatas. Nossa conclusão é que qualquer técnica com este propósito precisa ser estudada e usada de forma apropriada.

O próximo passo dessa pesquisa é a implantação do sistema de pontos mais completo e do sistema de medalhas. Esperamos que os resultados obtidos com essas novas técnicas sejam positivos e que resultem num aumento de colaboração entre os alunos.

8. Referências

Alves, F. P.; Maciel, C. M.; Alonso, K. M. (2013). “A utilização de badges no ambiente virtual de aprendizagem Moodle”. Em: Seminário Nacional de Inclusão Digital, 2014, Passo Fundo - RS. Anais do III Seminário Nacional de Inclusão Digital. Passo Fundo - RS: Ed. Universidade de Passo Fundo, 2014.

Deterding, S.; Dixon, D.; Khaled, R; Nacke, L. (2011). “From game design elements to

- gamefulness: defining ‘gamification’”. Em: Proceedings of the 15th International Academic MindTrek Conference: Envisioning Future Media Environments.
- Faleiros, F. P.; Almeida, B. S. R. (2015). “Interface e Ferramentas do Moodle: a experiência do usuário em práticas colaborativas gamificadas”. Disponível em: http://www.periodicos.letras.ufmg.br/index.php/anais_linguagem_tecnologia/article/view/8453.
- Fardo, M. (2013). “A Gamificação Aplicada Em Ambientes De Aprendizagem”. Em: . RENOTE. Revista Novas Tecnologias na Educação , v. 11, p. 1, 2013.
- Grant, S.; Betts, B. (2013). “Encouraging user behaviour with achievements: An empirical study”. Em: Mining Software Repositories (MSR), 2013 10th IEEE Working Conference. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6624007/?reload=true>.
- Hamari, J. and Koivisto, J. (2013). “Social motivations to use gamification: an empirical study of gamifying exercise”. Em: Proceedings of the 21st European Conference on Information Systems.
- Ferreira, J. L. (2013). “Moodle: Um espaço de interação e aprendizagem”. Em: Educação a Distância no Brasil: aspectos históricos, legais, políticos e metodológicos.
- Knihs, E.; Araújo, J. (2007). “Cooperação e Colaboração em Ambientes Virtuais de Aprendizagem Matemática”. Disponível em: http://alb.com.br/arquivo-morto/edicoes_anteriores/anais16/sem15dpf/sm15ss10_02.pdf.
- Mehlecke, Q. T. C.; Tarouco, L. M. R. A. (2011). “Ambientes de suporte para educação à distância: a mediação para aprendizagem cooperativa”. Em: Ciclo de Palestras sobre Novas Tecnologias na Educação , Porto Alegre - RS, v. 1, 2003.
- Roque, A. S.; Geiss, E. R.; Santos, C. P.; da Silva; D. R. (2013). “Técnicas de Gamificação em AVAs: Um Estudo de Caso no Ambiente Virtual de Aprendizagem Moodle”. Disponível em: <http://www.eati.info/eati/2013/assets/anais/artigo53.pdf>.

O Processo de Evolução de Regras de Gamificação para Emergir uma Inteligência Coletiva

Adilson Ricardo da Silva, Mariano Pimentel

Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UNIRIO)
Avenida Pasteur, 458 – 22.290-240 – Rio de Janeiro – RJ – Brasil

{adilson.dasilva, pimentel}@uniriotec.br

***Abstract.** The aim of this paper is to present the evolution in the process of creating rules in an online education environment for the emergence of a collective intelligence. In this paper, I present the evolution of the rules in an online environment. The initial research's objective was to get the engagement from the gamification, which was very efficient. This research was divided in three cycles and, at the end of each cycle, the evaluation of the rules allowed its evolution. This research used the epistemological paradigm Design Science Research (DSR), a way of doing science that has as one of its products an artifact, in this case, the rules (a model) and its application (an instantiation).*

***Resumo.** O objetivo deste artigo é apresentar a evolução no processo de criação de regras em um ambiente de educação online para emergir uma inteligência coletiva. Neste artigo apresento a evolução das regras em um ambiente online gamificado. O objetivo inicial da pesquisa era obter o engajamento a partir da gamificação, o que se mostrou bastante eficiente. A pesquisa foi dividida em três ciclos e, ao final de cada ciclo, a avaliação das regras permitiu sua evolução. Esta pesquisa utilizou o paradigma epistemológico Design Science Research (DSR), uma forma de fazer ciência que tem como um de seus produtos um artefato, neste caso, as regras (um modelo) e sua aplicação (uma instanciação).*

1. Introdução

Comunidades *online* têm participação desigual, cada participante tem seu próprio perfil de interação com o grupo. Nielsen (2006) apresenta uma regra que se aplica à maioria das comunidades *online*; na pesquisa, esse autor divide os participantes em três grupos: os participantes extremos que representam 1%, os participantes eventuais que representam 9% e os 90% restante são classificados como meros observadores, como pode ser observado na Figura 1.

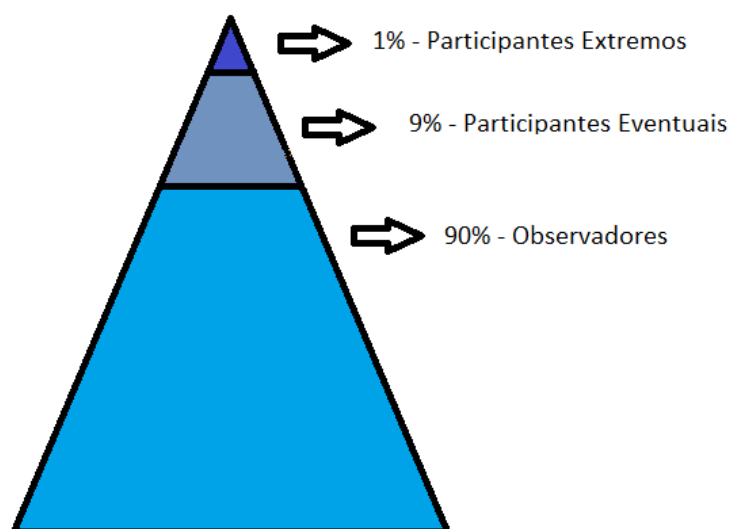


Figura 1. Regra 90-9-1 de Nielsen

Nielsen conclui, em sua pesquisa, que todas as comunidades *online* têm esses três perfis de participantes, mas as proporções da pirâmide podem ser alteradas; por exemplo, a *wikipedia* americana obedece à regra 99,8-0,2-0,003, ou seja, enquanto 99,8% dos participantes são meros observadores, apenas 0,003% contribuem efetivamente na plataforma (Nielsen, 2006).

Nas comunidades educacionais *online* a participação desigual também ocorre e, por este motivo, o foco de nosso grupo de pesquisa é encorajar a interação dos alunos observadores, pois, apenas desta forma, contribuirão para a formação dos seus pares e também para sua própria formação (Silva *et. al*, 2016).

Lampe e colaboradores (2010), ao falarem sobre a motivação de um participante em continuar contribuindo com a comunidade *online*, afirmam que o motivo que leva uma pessoa a participar de um grupo virtual pode ser diferente do motivo que a levou a entrar nessa comunidade, dessa forma, a discussão dos autores está nas formas de como manter essas pessoas motivadas e engajadas na participação.

A gamificação surge, então, como uma possibilidade de aumentar o engajamento dos participantes, um requisito essencial para a continuidade de uma comunidade *online* (Classe e Araujo, 2015).

Ao utilizar os elementos universalmente encontrados em jogos, a gamificação pretende alcançar envolvimento, motivação e engajamento dos participantes (Fardo, 2013), com isso, podemos gerar nos integrantes da comunidade *online* o mesmo sentimento que teriam ao participar efetivamente de um jogo.

Esta pesquisa não propõe o desenvolvimento de um sistema de inteligência coletiva, mas a utilização dos princípios de colaboração para gerar regras de gamificação mais robustas para aplicação em um ambiente *online* e, enfim, emergir uma inteligência coletiva

As Seções seguintes apresentam os subsídios necessários para que pudéssemos realizar esta pesquisa. A Seção 2 apresenta um referencial teórico com os conceitos de gamificação e inteligência coletiva. Na Seção 3 apresentamos a *Desing Science*

Research (DSR), paradigma de pesquisa utilizado para a condução deste estudo, e a *Design Science Research Methodology* (DSRM), um método científico para a realização de pesquisas em DSR. A Seção 4 e suas subseções contêm os ciclos desta pesquisa que terão seus achados apresentados na Seção 5. A Seção 6 apresenta a conclusão deste artigo com limitações encontradas e sugestões de trabalhos futuros.

2. Referencial Teórico

Esta pesquisa utilizou-se dos dois conceitos apresentados na introdução deste artigo, a Inteligência Coletiva e a Gamificação. Esses conceitos serão apresentados nas Seções seguintes.

2.1. Inteligência Coletiva

Pierre Lévy (2014) apresenta uma das definições mais citadas¹ sobre a inteligência coletiva: “É uma inteligência distribuída por toda a parte, incessantemente valorizada, coordenada em tempo real, que resulta em uma mobilização efetiva das competências ... A base e o objetivo da Inteligência Coletiva são o reconhecimento e o enriquecimento mútuos das pessoas...” (p. 29).

A inteligência coletiva emerge quando os sujeitos chegam a uma decisão após uma ou mais execuções do ciclo “ideia – desentendimento – contra-ideia – acordo” (Gunasekaran *et al.*, 2013).

A coletividade e seus objetivos são uma possibilidade para o surgimento de uma inteligência coletiva. Alguns autores, como Bell (2009), chamam a inteligência coletiva de “a nova inteligência artificial”, pois algumas aplicações fazem o uso das informações oriundas dos participantes para alimentar sua base de dados e, assim, gerar conhecimento e promover a inteligência coletiva.

Embora a Inteligência Coletiva não necessite do apoio das Tecnologias de Informação e Comunicação, o surgimento de novas tecnologias aumentou potencialmente os eventos de Inteligência Coletiva. Um conceito para a criação de sistemas que promovem a colaboração é a WEB 2.0 que possui, dentre seus oito principais padrões, um que utiliza a Inteligência Coletiva criando “uma arquitetura de participação que usa algoritmos e efeitos de rede para produzir um software que melhora à medida que mais pessoas o utilizam” (Musser, 2007). As novas tecnologias que permitem a conectividade entre os sujeitos potencializam o crescimento da Inteligência Coletiva (Diplaris *et al.*, 2010).

Como exemplo de ambientes de Inteligência Coletiva podemos citar a Wikipédia, um ambiente colaborativo onde os participantes podem editar conteúdos sobre diversos assuntos. O waze², normalmente apresentado como uma aplicação gamificada, foi classificado também como um ambiente de Inteligência coletiva por Nishi e colaboradores (2012), pois tem sua base alimentada colaborativamente e utiliza estas informações em benefício da ferramenta.

¹ Em pesquisa realizada no Google Acadêmico em 26/03/2017, essa obra possui 3.801 citações em sua versão em português, 2.256 em sua versão em inglês e 1.464 citações na versão em francês.

² <https://www.waze.com/pt-BR>

2.2. Gamificação

O termo gamificação foi utilizado pela primeira vez em 2008 e, desde então, diversos autores tentaram cunhar uma definição para o termo. A mais popular está no trabalho de Deterding e colaboradores (2011)³ que definem a gamificação como “o uso de elementos de *game design* em contextos de não-jogo”.

Outra definição bastante popular é a de Zichermann e Cunningham (2011)⁴ que afirmam que gamificação é o “processo de *game-thinking*⁵ e mecânicas de jogos para engajar usuários e resolver problemas”.

Nessa pesquisa a definição utilizada é a de Deterding e colaboradores (2011), pois entendemos que é mais abrangente e que não está limitada às mecânicas de jogo para definir um ambiente gamificado.

Em diversas outras definições de gamificação um termo que sempre está presente é “engajamento”, esta é uma palavra-chave quando pensamos em gamificação e essa ideia de manter os usuários engajados vem dos jogos, pois costumamos classificar os melhores jogos como os mais “viciantes”, mais envolventes e que costumam consumir muitas horas de seus jogadores. Para conseguirmos este engajamento voluntário, devemos ter regras bem elaboradas, um sistema eficaz de *feedback* e metas bem definidas (Busarello *et al.*, 2014).

Além do engajamento, outra palavra-chave na gamificação é a “recompensa”, pois cativa o participante. Isso é muito comum em programas de fidelidade de diversas empresas, pois mantém usuários consumidores frequentes. Entretanto, oferecer “prêmios em dinheiro ou ‘do mundo real’ tendem a atrair o tipo errado de audiência”, portanto uma boa estratégia é que os usuários possam “consumir” seus ganhos dentro do próprio ambiente (Santos Jr, 2014).

Um exemplo bem-sucedido de gamificação é o *foursquare*⁶, uma aplicação para *smartphones* que, entre outras funções, implementa a busca e recomendação de lugares, além de publicar dicas e avaliações de locais. Inicialmente o *foursquare* tinha como sua principal funcionalidade os “*check-ins*” e ao utilizar esta função o usuário ganhava pontos e poderia alcançar alguns *badges*, um objetivo de muitos usuários era se tornar o “prefeito” do local. Atualmente essa última funcionalidade pertence ao aplicativo *swarm*, também do grupo *foursquare*.

A abordagem PBL (*Points, Badges and Leaderboard*) é a mais comum ao se implementar um ambiente gamificado, Werbach e Hunter (2012) a chamam de “PBL *Triad*”. Embora muito popular, esta abordagem apresenta diversas limitações. Os pontos motivam a contribuição, as ações no ambiente possuem, normalmente, uma pontuação associada e a execução de tarefas gera pontos aos participantes. Os *badges* de conquista mostram a evolução do participante, podem ser considerados uma versão mais elaborada dos pontos, uma associação dos *badges* com os jogos seria a “mudança de nível”. O

³ Em pesquisa realizada no Google Acadêmico em 26/03/2017, essa obra possui 2.774 citações.

⁴ Em pesquisa realizada no Google Acadêmico em 26/03/2017, essa obra possui 1.265 citações.

⁵ Uso da abordagem de jogos para resolver problemas e criar melhores experiências (Marczewski, 2015)

⁶ <https://pt.foursquare.com/>

último conceito da tríade é a lista de classificação, ou *ranking*, é um mecanismo de *feedback* muito utilizado em jogos. É um item controverso, pois, ao servir como fator motivador para os que estão nas primeiras posições, pode causar a desmotivação dos que estão na parte inferior da lista (Werbach e Hunter, 2012).

A gamificação não deve ser confundida com a criação de um jogo. O resultado de um ambiente gamificado não é um jogo, pelo contrário, é um não-jogo. Entretanto esse não-jogo deve criar no participante uma atmosfera que o faça lembrar do prazer de jogar (Santos Jr, 2014).

3. Design Science Research (DSR)

A pesquisa que gerou este artigo foi concebida a partir do paradigma epistemológico DSR⁷, uma abordagem apresentada recentemente e que vem se popularizando em algumas áreas, principalmente em Sistemas da Informação (SI), área em que as pesquisas objetivam produzir conhecimento que possibilite o desenvolvimento de soluções tecnológicas para problemas importantes que atendam às diversas áreas de negócios (Hevner *et al.*, 2004).

A DSR propõe a construção de conhecimento a partir do projeto de artefatos que resolverão um problema em um determinado contexto. Outra característica importante das pesquisas em DSR é sua estrutura, como as pesquisas ocorrem. Um artefato que não é construído com base em conjecturas teóricas e que não é avaliado com rigor científico não pode ser considerado pesquisa científica (Pimentel e Filippo, 2016). O uso de teoria para construir um artefato e um método para avaliação deste artefato faz com que pesquisas em DSR sejam, normalmente, executadas em ciclos, a cada ciclo o artefato é evoluído com a avaliação executada no ciclo anterior. O grupo de pesquisa que participo esquematizou, com base em Hevner e Chatterjee (2010), este conceito de ciclos de pesquisa para evolução do artefato, que pode ser observado na Figura 2.



Figura 2. Ciclos em Design Science Research (adaptado e traduzido de Hevner e Chatterjee, 2010)

⁷ Embora alguns autores prefiram traduzir o termo *Design Science Research*, nesse artigo, mantivei os termos em inglês para evitar qualquer problema decorrente de discordância na tradução.

A definição de artefato, tem sido atualizada conforme ocorre a evolução da DSR. Simon (1996) apresenta o conceito de artefato como sendo tudo o que é “não-natural” ou “artificial” no sentido de ser feito pelo homem; esse conceito é muito amplo. Peffers e colaboradores (2008) restringiram um pouco afirmando que um artefato é algo projetado para alcançar um determinado objetivo. Entretanto, esta definição ainda parece ser muito ampla. Vaishnavi e Kuechler (2015) restringiram um pouco mais este conceito apresentando oito tipos de artefatos: Construto, Modelo, Framework, Arquitetura, Princípio de Projeto, Método, Instanciação e Teorias de Projeto.

Vários métodos para se fazer pesquisa em DSR foram propostos e, todos eles têm algumas atividades em comum, como a definição do problema; a revisão da literatura ou a busca por teorias existentes; apresentação de sugestões de possíveis soluções; desenvolvimento e avaliação das soluções propostas (do artefato); decisão sobre a melhor solução; e a comunicação dos resultados para a comunidade científica (Dresch *et al.*, 2015).

Nesta pesquisa utilizei *Design Science Research Methodology* (DSRM), um método apresentado por Peffers *et al.* (2008) que possui, atualmente, 2.281 citações no Google Acadêmico (pesquisa realizada em 26/03/2017). Este método é composto de seis passos e começa com a identificação do problema e a motivação da pesquisa (importância, utilidade da pesquisa).



Figura 3. Método de Pesquisa DSRM (Traduzido de Peffers *et al.*, 2008)

A descrição detalhada do método será apresentada na Seção 4.2, quando será descrito o segundo ciclo da pesquisa.

4. Ciclos de Pesquisa

A execução desta pesquisa ocorreu em três ciclos. Entre um ciclo e outro as conjecturas teóricas foram revisitadas para ajustes e os artefatos foram alterados para contemplar os resultados da avaliação ocorrida no ciclo anterior.

Os ciclos descritos nas Seções seguintes apresentam a evolução da pesquisa e seguirão a metodologia apresentada resumidamente na Seção 3.

4.1. Gamificação versus Aproveitadores

Essa pesquisa começou na avaliação dos resultados de um estudo de caso proposto em uma turma presencial em uma Universidade do Rio de Janeiro. Eu assumi que, nesta pesquisa, este foi o primeiro ciclo; embora os seis passos de um ciclo DSRM não tenham sido executados em sua totalidade. Portanto, o início desse ciclo se dá no passo cinco do método científico utilizado nessa pesquisa.

O estudo de caso proposto na turma tinha o objetivo de aumentar a participação dos alunos nas atividades *online* propostas pelo professor da disciplina. O professor criou um grupo no Facebook com a intenção de participação dos alunos com contribuições com assuntos relevantes para a disciplina, mas a adesão era pequena e o grupo funcionava como um mural de avisos da disciplina.

Na proposta de gamificação do grupo foram apresentadas aos alunos as ações que gerariam pontos e bonificações para os participantes. Após este ato passou-se a computar os pontos dos alunos pelas ações relacionadas na tábua de pontuação.

Neste momento a comunicação no grupo tornou-se tumultuada e caótica, com alunos fazendo comentários em postagens antigas com o único objetivo angariar pontos. Começaram a surgir comentários vazios, sem informação útil, *floods*, comentários com uma palavra ou uma letra. A esse comportamento demos um nome: Aproveitadores.

Definimos estes aproveitadores como as pessoas que se aproveitaram da fragilidade das regras para benefício próprio, ou seja, apenas para “ganhar a competição”. Este comportamento se assemelha aos *killers*, presentes na taxonomia proposta por Bartle (1996).

Ao avaliar os artefatos deste primeiro ciclo, chegamos à conclusão que a gamificação aumenta a participação, mas que as regras precisam ser repensadas para o atingimento de um melhor resultado.

4.2. Gamificação + Inteligência Coletiva para Inibir os Aproveitadores

Esta Seção apresenta a execução do segundo ciclo desse estudo e, concomitantemente, detalha a metodologia científica utilizada na pesquisa, a DSRM, apresentada resumidamente na Seção 3.

Esse ciclo seguiu os seis passos proposto por Peffers e colaboradores (2008). De fato, o primeiro passo não faz parte da iteração, como se pode ver na figura 3, pois é onde ocorre a identificação do problema que motivou a pesquisa que, em tese, não se altera. Mas para apresentar a metodologia de forma didática, apresentarei o primeiro passo do método.

O problema que essa pesquisa tentou resolver foi a baixa participação nas atividades *online* em uma disciplina presencial. Nesse ponto também foi identificada a importância da pesquisa: baixa participação em atividades *online*. A DSRM apresenta a relevância desse item, pois é uma forma de conferir relevância à pesquisa. Esse momento da pesquisa é importante, pois o pesquisador identifica a necessidade da pesquisa. Dresh e colaboradores (2015) classificam como necessária uma pesquisa que alia o rigor teórico-metodológico à sua utilidade prática para a sociedade (relevância).

No segundo passo passamos a pensar no melhor objetivo da solução. Como este ciclo é a evolução de um ciclo anterior, o foco está no resultado da avaliação dos artefatos já produzidos e que podem evoluir para a resolução do problema. A pergunta que precisamos responder foi: como o artefato pode evoluir para inibir o comportamento de aproveitadores?

Chegamos à conclusão que deveríamos alterar as regras de pontuação e, para surgir a inteligência coletiva, as regras precisavam ser colaborativas, ou seja, não bastaria a ação do sujeito para que este recebesse recompensa, a ação dele deveria estar associada à ação de outro sujeito, desta forma, a interação seria recompensada e as mensagens sem interação não teriam pontuação na gamificação.

O terceiro passo é para projetar e desenvolver o artefato com o objetivo de resolver o problema proposto no passo um. Com as ideias do passo anterior, pensamos em como as regras poderiam evoluir para aumentar a colaboração e não termos somente uma competição. Ao final deste passo tínhamos um novo conjunto de regras tanto de pontuação quanto de divulgação para acompanhamento.

Com o novo artefato pronto, fizemos uma nova utilização para avaliá-lo. Utilizamos novamente o Facebook para as atividades online em uma turma presencial durante três meses. Os dados foram coletados com o aplicativo netvizz (disponível para qualquer usuário do Facebook), tratados para aplicação das regras e divulgados semanalmente. A alteração na periodicidade da divulgação dos dados para acompanhamento foi uma alternativa para evitar um dos comportamentos dos aproveitadores.

O quinto passo do método DSRM é a validação do artefato, este deve ser observado segundo sua eficiência e eficácia, além de como ele se comporta quando aplicado no contexto em que deveria ser analisado. Para avaliar os artefatos desse ciclo, os participantes foram submetidos a um questionário com algumas perguntas sobre os artefatos e sobre o processo de gamificação aplicado.

Nesse passo concluímos que a participação aumenta com a gamificação e que a inteligência coletiva surgiu com a colaboração identificando corretamente várias mensagens relevantes para o grupo; entretanto, algumas mensagens foram classificadas erroneamente quanto à sua relevância. Percebemos que por usar um sistema de rede social para avaliar o artefato, algumas mensagens de cunho social tiveram um alto grau de interação, o que não havíamos previsto. Nossa intenção era computar apenas as mensagens conectadas à disciplina.

Com isso, a decisão deste passo foi voltar ao passo dois e repensar o artefato. Neste ciclo, o último passo não ocorreu, houve a tentativa de publicação de um artigo, mas como os dados ainda estavam muito inconclusivos, não foi publicado.

4.3. Gamificação + Inteligência Coletiva + Bate-papo com Reações

Ao final do segundo ciclo, concluímos que o Facebook como plataforma de aplicação do artefato não seria suficiente para nosso objetivo, pois precisaríamos de customizações que não seriam possíveis. Desta forma houve a proposta de desenvolvimento de um sistema de bate-papo gamificado com reações.

A proposta de reações no bate-papo surgiu no final de 2015 quando o Facebook implementou os novos botões no seu sistema de rede social⁸. Percebemos que seria válido um sistema de bate-papo inspirado nesses botões. Passamos, então, ao desenvolvimento deste novo sistema. As reações utilizadas foram diferentes do Facebook como pode ser visto na Figura 4.



Figura 4. Reações utilizadas no sistema de bate-papo com reações

Diferentemente da implementação do Facebook, no nosso sistema de bate-papo não restringimos o uso das reações, um usuário poderia selecionar diversas reações em uma mesma mensagem, inclusive todas. Esta opção serviu para identificarmos como os participantes se comportariam com todos os botões disponíveis e se iriam efetivamente marcar mais de uma reação em uma mensagem.

O desenvolvimento do sistema ocorreu no início de 2016 e foi executada uma sessão para avaliação do artefato. Imediatamente após essa sessão ocorreu um grupo focal onde os participantes avaliaram o sistema, pois estavam tendo contato com a plataforma pela primeira vez. Também depois da sessão os participantes receberam um questionário com perguntas sobre o sistema, sobre a gamificação implementada e sobre a dinâmica de conversar e reagir às mensagens.

Esse ciclo trouxe como contribuição um novo sistema de bate-papo (Figura 5⁹), desenvolvido utilizando conceitos de gamificação e promovendo a colaboração para criar uma inteligência coletiva.

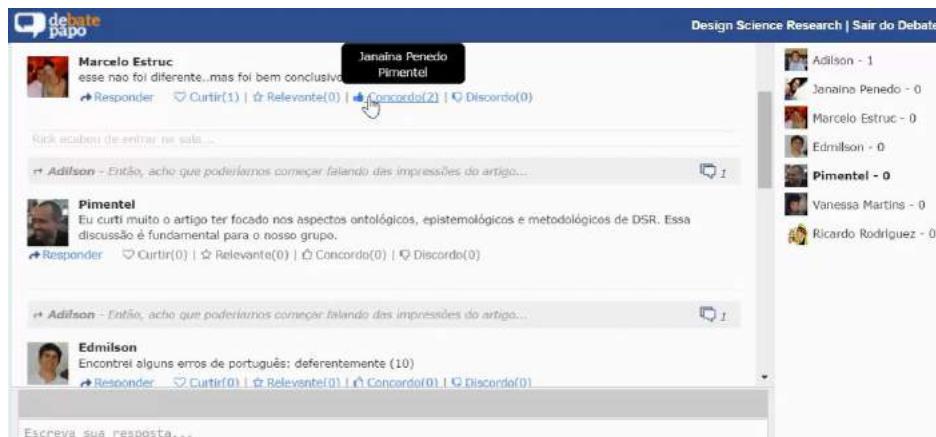


Figura 5. Reações utilizadas no sistema de bate-papo com reações

⁸ <http://www.techtudo.com.br/noticias/noticia/2015/10/facebook-tera-botoes-de-reacao-alem-do-conheca-os-seis-emojis.html>

⁹ Os participantes desta seção de bate-papo responderam a um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido e autorizaram a divulgação de suas imagens de perfil, bem como seus nomes reais, permitindo assim também a garantia de expressão da autoria de suas mensagens.

Outra contribuição explícita foi o uso das reações, que parece promissor, mas que carece de novos estudos para percebermos o uso dos participantes.

5. Achados

No primeiro ciclo da pesquisa, o achado foi a confirmação da nossa conjectura teórica, que a gamificação promove o engajamento dos participantes. Nessa mesma iteração, também descobrimos que as regras da gamificação precisam ser colaborativas para não gerar apenas o sentimento de competição entre os participantes. Os aproveitadores foram o grande problema nesse momento da pesquisa.

O segundo ciclo confirmou o achado do primeiro sobre o engajamento proporcionado pela gamificação. O surgimento da inteligência coletiva não foi como esperávamos, não conseguimos inferir com precisão as mensagens relevantes para a discussão no grupo. Mensagens de cunho social dificultaram a identificação das mensagens relacionadas à disciplina.

No último ciclo descobrimos que faz sentido um bate-papo com reações. No grupo focal realizado após a sessão de avaliação do sistema de bate-papo, os participantes confirmaram nossa conjectura teórica. Influenciados pelos sistemas de redes sociais e mensageiros mais populares, a comunicação não-textual passou a fazer parte do nosso cotidiano.

Fato interessante sobre esse achado é que desde o dia 23/03/2017 o Facebook passou a permitir reações em seu sistema de bate-papo, o Messenger¹⁰ (Figura 6).



Figura 6. Reações do Facebook Messenger⁸

Um dos motivos da implementação das reações em outras plataformas do Facebook pode ter sido por causa do apoderamento dos usuários do sistema. Com um ano de uso das reações, foram contabilizados mais de 300 milhões de reações às mensagens¹¹.

¹⁰ <https://techcrunch.com/2017/03/23/facebook-messenger-reactions/> (acesso em 28/03/2017)

¹¹ <http://www.techtudo.com.br/noticias/noticia/2017/03/reacoes-no-facebook-agora-sao-mais-importantes-do-que-curtidas.html>

6. Conclusão

Este artigo apresentou a evolução de uma proposta de gamificação de uma comunidade *online*. Inicialmente no grupo do Facebook em uma turma presencial foi possível perceber o aumento da participação; entretanto os aproveitadores levaram a comunicação a um estado caótico com postagens sem sentido, comentários e curtidas em mensagens antigas, além de outros problemas comuns em comunidades *online*.

A evolução das regras e da forma apresentação para o acompanhamento dos participantes no segundo ciclo manteve a participação alta e evitou os aproveitadores. Nesse ciclo observamos o uso da plataforma, ainda que dentro de um grupo educacional, com cunho social, isso foi um problema para a identificação das mensagens relevantes no contexto do grupo.

O desenvolvimento de um sistema de bate-papo com reações tentou desvencilhar o social do acadêmico. Com o participante informando explicitamente quais são, na sua visão, as mensagens relevantes para a discussão.

As reações devem ser estudadas em trabalhos futuros, pois apresentaram boa receptividade pelos participantes da sessão de bate-papo. Devem ser observadas sugestões de novas reações ou até mesmo a implementação de reações mutuamente excludentes.

Referências

- Bartle, R. A. (1996) Heart, Clubs, Diamond, Spades: players who suit muds. Disponível em <<http://www.mud.co.uk/richard/hcds.htm>>. Acessado em 28/03/2017.
- Bell, G. (2009) Building Social Web Applications. 1st Edition. Sebastopol, CA: O'Reilly Media, Inc. 2009.
- Busarello, R. I., Ulbricht, V. R., Fadel, L. M. (2014) A gamificação e a sistemática de jogo: conceitos sobre a gamificação como recurso motivacional. In *Gamificação na Educação*, Fadel, L. M., Ulbricht, V. R., Batista, C. R., Vanzin, T., organizadores. São Paulo: Pimenta Cultural, 2014. 300p.
- Classe, T. M., Araujo, R. M. (2015) “Gamificação Para Participação Social Em Processos Públicos: Mapeamento Sistemático” In: *Simpósio Brasileiro de Sistemas Colaborativos*, páginas 130-137. Salvador. Bahia.
- Deterding, S., Dixon, D., Khaled, R. *et al.*, (2011) From Game Design Elements to Gamefulness: Defining “Gamification”. In MindTrek’11, Tampere, Finland, 2011
- Diplaris S., Kompatsiaris I., Flores A., *et al.* (2010) Collective Intelligence in Mobile Consumer Social Applications In 2010 Ninth International Conference on Mobile Business / 2010 Ninth Global Mobility Roundtable
- Dresch, A., Lacerda, D. P., Antunes Jr, J, A. V. (2015) Design Science research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia. Porto Alegre, Bookman.
- Fardo, M. L., (2013) A Gamificação Aplicada em Ambientes de Aprendizagem. In *Novas Tecnologias na Educação* V. 11, Nº 1, julho de 2013.

- Hevner, A., Chatterjee, S. (2010) Design Research in Information Systems. In *Integrated Series in Information Systems* 22, DOI 10.1007/978-1-4419-5653-8_2.
- Lévy, P. (1994) A inteligência coletiva: por uma antropologia do ciberespaço. São Paulo: Edições Loyola, 2015 [10a ed.]
- Marczewski, A. (2015) Game Thinking. Even Ninja Monkeys Like to Play: Gamification, Game Thinking and Motivational Design (1st ed., pp. 15). CreateSpace Independent Publishing Platform.
- Musser, J (2007) Web 2.0 principles and best practices. O'Reilly Media, Inc. Sebastopol, CA.
- Nielsen J. (2006) The 90-9-1 Rule for Participation Inequality in Social Media and Online Communities. Disponível em <<https://www.nngroup.com/articles/participation-inequality/>>, acessado em 26/03/2017.
- Nishi, M. K., Chaves, A. P., Steinmacher, I. (2012) Um Sistema Baseado em Inteligência Coletiva para Visualização de Problemas em Vias Públicas. In *IX Simpósio Brasileiro de Sistemas Colaborativos*, 2012.
- Peppers, K., Tuunanen T., Rothenberger M. A. *et al.*, (2008) A design science research methodology for information systems research. In *Journal of Management Information Systems* (JMIS) 24 (3), pp. 45–77
- Pimentel, M., Filippo, D (2016) Desafios para fazer Pesquisa Científica de Qualidade (rigor), Útil (aplicada) e Relevante em Informática na Educação. Notas da palestra proferida no 5º Desafie!. Porto Alegre, 7 de julho de 2016. Documento online: <<http://www.slideshare.net/pimentelmariano/desafios-para-fazer-pesquisa-cientifica-de-qualidade-rigor-til-aplicada-e-relevante-em-informtica-na-educacao-63798760>> acessado em 25/03/2017.
- Santos Jr, S. A. (2014) Gamificação – Introdução e conceitos básicos, ebook (disponível em gamificando.com.br, acessado em 01/02/2015)
- Simon, H., 1996, *The Sciences of the Artificial*, 3 ed. Cambridge, MIT Press.
- Silva, A.R., Estruc, M., Pimentel, M. (2016) Uso da inteligência coletiva para identificação de mensagens relevantes em um bate-papo gamificado. In *Anais do Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*, 2016.
- Vaishnavi, V. K., Kuechler, Jr. W. (2015) *Design Science Research Methods and Patterns - Innovating Information and Communication Technology*, Second Edition, CRC Press, Boca Raton, FL.
- Werbach, K., Hunter, D. (2012) *For the Win: How Game Thinking can Revolutionize your Business*. Wharton Digital Press. Philadelphia, PA.
- Zichermann, G., Cunningham, C. (2011) *Gamification by design: Implementing game mechanics in web and mobile apps*. O'Reilly Media Inc, Sebastopol, CA

Modelo 3C de Colaboração aplicado ao uso de um repositório para o desenvolvimento de interfaces para autistas

Áurea Hiléia da Silva Melo^{1,2,3}, Clara Aben-Athar Bentes Fernandes¹,
Marco Santarelle da Silva Jardim¹, Raimundo da Silva Barreto²

¹Centro Universitário do Norte – Laureate International Universities (UNINORTE)
Caixa Postal 69010-060 – Manaus – AM – Brazil

²Instituto de Computação – Universidade Federal do Amazonas (UFAM)
Caixa Postal 69.077-000 – Manaus – AM – Brasil.

³Universidade do Estado do Amazonas - Escola Superior de Tecnologia (EST-UEA)
Caixa Postal 69050-020 – Manaus – AM – Brasil.

{claraaabf, santarelle}@unn.edu.br,
{aurea.melo, rbarreto}@icomp.ufam.edu.br

Abstract. *New applications are developed day by day with the aim of helping children with autism in their therapies. In order to contribute to the increase of the production of these applications, this article presents a tool as a collaborative repository to guide developers of this type of application, following the good practices referring to interfaces for autistic users. This tool follows the Collaboration Model 3C, highlighting the value of the elements in their aspects and characteristics of communication, coordination and cooperation, so that they are complementary and make collaboration more and more effective.*

Resumo. *A cada dia novos aplicativos são desenvolvidos com o intuito de auxiliar crianças com autismo em suas terapias. De forma a contribuir com o aumento da produção desses aplicativos, este artigo apresenta uma ferramenta em forma de repositório colaborativo que possa servir de guia para os desenvolvedores desse tipo de aplicação, seguindo boas práticas relacionadas a interfaces destinadas a usuários autistas. Tal ferramenta, permite que o Modelo 3C de Colaboração seja aplicado, ressaltando a valorização dos elementos em seus aspectos e características de comunicação, coordenação e cooperação, de modo que sejam complementares e torne a colaboração cada vez mais efetiva.*

1. Introdução

O Autismo, também conhecido como Transtornos do Espectro Autista (TEA), é um transtorno que causa problemas no desenvolvimento da comunicação, socialização e comportamento [American Psychiatric Association 2013]. Esse transtorno atinge tanto crianças como adultos que apresentam o diagnóstico tardio, ao redor do mundo.

De acordo com as áreas do desenvolvimento humano afetadas, é possível destacar os principais fatores que definem os sintomas, tais como, dificuldades de

comunicação, comportamentos repetitivos e mudanças sociais. Buscando diminuir essas barreiras, surgem as intervenções tecnológicas [Alessandrini, Cappelletti e Zancanaro 2014], que utilizam a tecnologia a seu favor, com o uso de software, jogos, ferramentas, entre outros recursos, para tornar o tratamento mais dinâmico, além de reduzir tempo e custos.

Automatizar determinadas operações por meio da intervenção tecnológica permite um tratamento mais eficaz, no entanto, é preciso observar as melhores práticas na concepção, elaboração e desenvolvimento de projetos, de forma a oferecer as devidas vantagens no tratamento do comportamento autista. Dessa forma, diversos trabalhos têm sido realizados para auxiliar no desenvolvimento desses recursos, entre eles, o processo ProAut (PROcesso para Projeto de Interfaces Destinadas a Usuários AUTistas) que surgiu como uma proposta para guiar equipes de desenvolvimento visando a construção desse tipo de produtos [Melo, Barreto e Conte 2016].

O ProAut é constituído de duas etapas: *Design* Inicial de protótipos e Avaliação e Refinamento do Protótipo, sendo que estas podem ser guiadas por um conjunto de diretrizes/recomendações. A cada ciclo de aplicação do processo, a equipe de desenvolvimento poderá utilizar o repositório de recomendações como guia de suporte a escolha das boas práticas. Da mesma maneira que o usuário tem a opção de consumir as informações contidas no repositório, ele também poderá disponibilizá-las, por meio das lições aprendidas pela equipe durante o desenvolvimento de um produto destinado a autistas, de modo que seja utilizado por eles ou por outros usuários em projetos futuros. O principal diferencial desse processo, segundo Melo, Barreto e Conte (2016), é fornecer “um conjunto de diretrizes e recomendações que podem ser usadas por equipes de desenvolvimento de forma a facilitar a construção de interfaces por meio da prototipação”.

Este artigo propõe um repositório colaborativo para a disponibilização das diretrizes, no âmbito do desenvolvimento de projeto de interfaces destinadas a usuários autistas, o “*Guidelines ProAut*”. Esta ferramenta permite a inserção, a busca e o *feedback* sobre as recomendações, através de comentários e avaliação das recomendações (concordar ou não concordar). O usuário, seja desenvolvedor ou especialista, ao compartilhar o conhecimento adquirido durante o desenvolvimento de um projeto, contribuirá para o aperfeiçoamento das práticas, e aumento de precisão e consistência sobre a experiência compartilhada.

Após a implementação do repositório, fez-se a análise para verificar se é dado o suporte adequado à colaboração, baseado no Modelo 3C de Colaboração, exercendo as três atividades fundamentais para a colaboração - comunicação, coordenação e cooperação, de modo que seja aplicado ao uso da plataforma. Foi realizado um levantamento de quais funcionalidades atendem a cada elemento do modelo 3C e quais ferramentas correspondem as funções apresentadas para compor um sistema colaborativo.

Este artigo está organizado da seguinte forma: a Seção 2 apresenta a fundamentação teórica, com uma breve explanação sobre Sistemas Colaborativos, para explorar mais detalhadamente o Modelo 3C de Colaboração, e em seguida fazer uma análise de trabalhos correlatos de acordo com objetivo deste artigo. A Seção 3 apresenta a ferramenta desenvolvida. Já a Seção 4, relata a abordagem de uso dos repositórios no

que diz respeito a atuação dos elementos de colaboração. Por fim, na Seção 5, os resultados são analisados e as considerações finais e trabalhos futuros são apresentados.

2. Fundamentação Teórica e Trabalhos Correlatos

O conceito de colaboração refere-se a não somente interagir ou trocar informações, mas também a um ambiente com objetivos comuns e compartilhados, em que os participantes trabalhem juntos, com o propósito de contribuir para garantir o sucesso na execução de uma atividade [Gerosa 2006].

Nesse contexto, sistemas colaborativos são sistemas que apoiam a colaboração entre seus usuários e que se popularizaram a partir da estrutura de conexão entre os computadores em rede. Segundo a concepção de Nicolaci-da-Costa e Pimentel (2011), um sistema colaborativo constitui-se por um ciberespaço concebido para ser habitado, com um espaço para as interações humanas condizentes com os ideais das novas gerações para a realização do trabalho em grupo e que desejam colaborar, interagir e compartilhar, favorecendo o novo ser humano digital e a nova organização social.

A partir da análise de Pimentel et al. (2006), observou-se que a classificação dos sistemas colaborativos define-se a partir da taxonomia espaço-tempo e ao nível de aplicação. Dessa forma, as ferramentas colaborativas são classificadas de acordo com o lugar e o tempo das interações, referindo-se ao fato de estar à distância e de estabelecer uma comunicação síncrona ou assíncrona, que ora depende do estado de sincronia entre o emissor e o receptor, e ora é independente desse estado entre as partes envolvidas.

Visto que esse tipo de aplicação classifica-se de diversas formas, contudo ainda em consonância com Pimentel et al. (2006), considera-se que o Modelo 3C de Colaboração seja frequentemente usado pela literatura para classificar os sistemas colaborativos. Este modelo analisa a colaboração em três dimensões, representadas por: comunicação, coordenação e cooperação, de modo que é determinada a separação em dimensões para focar nos aspectos relevantes para a análise. Para Fuks et al. (2011), mesmo que algumas ferramentas disponham mais características de um elemento do que de outro, estas conterão mecanismos para dar suporte aos 3C's, pois os três são interdependentes e se inter-relacionam para que haja a colaboração.

Nos subitens a seguir, serão explorados separadamente os elementos do Modelo 3C e apresentados os trabalhos relacionados com essa pesquisa, buscando expor tanto a arquitetura quanto as funcionalidades ligadas a um repositório de recomendações.

2.1 Modelo 3C de Colaboração

O Modelo 3C de Colaboração abrange a comunicação, coordenação e cooperação. Sendo que a comunicação envolve a troca de mensagens, voltada exclusivamente para a ação dos compromissos. Enquanto que por meio da coordenação, as pessoas, as atividades e os recursos são gerenciados para lidar com conflitos e se organizarem, evitando o desperdício de comunicação e dos esforços de cooperação. Por fim, a cooperação é caracterizada pela execução das tarefas por meio da operação conjunta no espaço compartilhado, gerando e manipulando objetos ou informações para a sua produção. Durante a concretização dos 3C's, informações são geradas e disponibilizadas através de elementos de percepção [Gerosa, Fuks e Lucena 2003].

Para fins de análise, os elementos serão explorados de maneira isolada para focar nos seus aspectos individuais, mesmo que estejam associados para a geração da colaboração. Por essa razão, este isolamento ocorre apenas para a melhor compreensão sobre como ocorre a aplicação de cada componente nos sistemas colaborativos.

Comunicação é a ação de transmitir e receber mensagens, para que haja o entendimento comum entre as partes envolvidas (comum-ação), com trocas de ideias e negociações para a tomada de decisão e realização dos compromissos propostos, neste caso, na ocorrência da cooperação [Fuks et al. 2011]. Este processo de transmissão se realiza de maneira síncrona ou assíncrona, diferenciando-se conforme o tempo de resposta entre as partes.

Existem ferramentas que apoiam os dois modos de comunicação, de forma complementar ou independente. Algumas ferramentas possibilitam o envio e recebimento instantâneo de mensagens, de maneira que os envolvidos permaneçam em um estado de sincronia, tendo como exemplo as videoconferências. Enquanto que a outra classe de ferramentas, oferece suporte para fluxos de mensagens assíncronas, que não necessitam de um tempo de resposta imediato, como o e-mail, por exemplo. Os fóruns também são considerados ferramentas assíncronas, mesmo que seja um transmissor se comunicando com vários receptores.

Coordenação é o elemento que orienta e organiza para o atendimento dos compromissos gerados pela demanda do elemento de comunicação. De forma pontual, são definidos objetivos e restrições que determinarão quando as tarefas serão realizadas, na ordem e no tempo previstos. Portanto, é a ação de ordenar em conjunto: pessoas, tarefas e recursos (co-ordem-ação) [Fuks et al. 2011]. Além de oferecer suporte aos demais elementos, evitando conflitos em detrimento de falhas na comunicação e cooperação, mantendo-os alinhados às suas responsabilidades.

Essa dimensão fornece um tipo de política de acesso e um conjunto de regras para manter a ordem no ambiente compartilhado. Em geral, assemelha-se a estrutura lógica de uma plataforma. Utilizando o exemplo de uma típica sala de bate-papo, constitui-se num suporte à coordenação a exibição da lista de participantes, indicando os que estão conectados e disponíveis para a conversação [Pimentel et al. 2006]. Por isso, sem coordenação os esforços da comunicação e cooperação estariam comprometidos.

Cooperação é a produção conjunta das partes envolvidas, com a finalidade de que as mesmas trabalhem juntas para realizar as atividades. Isto posto, é a ação de operar em conjunto no espaço compartilhado (co-operar-ação) [Fuks et al. 2011]. Ao executarem as tarefas, no ambiente proposto e com objetivos definidos, os interessados responsabilizam-se por transformar, produzindo ou modificando de maneira compartilhada.

As atividades executadas durante o processo desse elemento, estabelecem a necessidade de comunicação e, de forma encadeada, demandam coordenação para orientar e guiar na realização das novas tarefas. Um exemplo disso, é o registro e compartilhamento como funcionalidades de uma ferramenta, tal qual o *chat*, a área que disponibiliza o registro das mensagens publicadas se constitui num suporte à cooperação [Pimentel et al. 2006].

Em consoante ao exposto, o modelo 3C foi esquematizado conforme ilustra a Figura 1, representando as definições e a maneira como os elementos se integram, evidenciando o inter-relacionamento entre eles para que a colaboração ocorra. No centro do diagrama, tem-se a percepção apontando através da seta bidirecional para as três dimensões, identificando que o grupo de pessoas é responsável por estimular e intermediar as propriedades. Com isso, segundo Gerosa, Fuks e Lucena (2003), por meio da percepção das atividades haverá informações suficientes para auxiliar na sincronização, orientando-se em torno de seus contextos individuais.

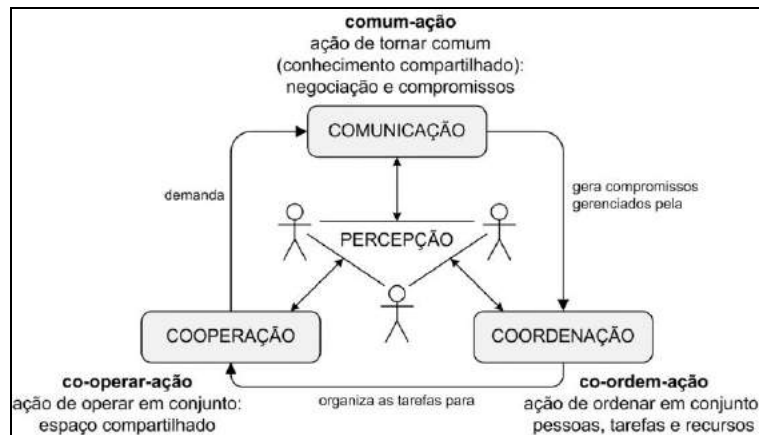


Figura 1. Modelo 3C de Colaboração

Fonte: Fuks et al. (2011)

2.2 Trabalhos Correlatos

A partir da abordagem do Modelo 3C de Colaboração, observou-se que para obter a classificação de sistema colaborativo é necessária a comunicação, coordenação e cooperação em função do Modelo 3C [Pimentel et al. 2006].

Na Figura 2 é apresentado como os sistemas são posicionados no espaço triangular constituído por três seções, de modo que o grau de suporte a cada uma das dimensões interfere no seu posicionamento, cujos elementos da colaboração estão nos vértices. Reafirmando que apesar da disposição da classe de aplicações apontar mais para uma dimensão, identificando o seu objetivo principal e oferecendo maior suporte a um determinado C, também é preciso dar suporte para os outros dois elementos.

Dentre as classes nomeadas, o “espaço de informação compartilhada” será o foco das ferramentas correlatas aqui mencionadas, devido à assimilação com o repositório *Guidelines ProAut*.

Silva et al. (2016), propõem uma plataforma *web* colaborativa denominada ColabAD, um sistema colaborativo de áudio-descrição que possibilita aos usuários compartilhar imagens utilizando a tecnologia assistiva (recursos e serviços que ampliam as habilidades funcionais de pessoas com deficiência) da Áudio-Descrição (AD). Em que uma imagem específica é descrita e detalhada em formato de texto, para a compreensão de pessoas com deficiência visual. Análoga aos Q&A's *Systems* (*Questions and Answers Systems*) ou Sistemas de Perguntas e Respostas, que Furtado e Andrade (2011) definem como sistemas com a finalidade de encontrar respostas (*answers*) para problemas, colocados em formato de perguntas (*questions*) por usuários que interagem de modo colaborativo.



Figura 2. Classificação 3C dos sistemas colaborativos
Fonte: Pimentel et al. 2006

Assim como Q&A's *Systems*, o ColabAD apresenta uma estrutura a qual os usuários com perfil comum geram demanda de imagens para que os usuários especializados realizem a AD das imagens. Posteriormente, para então torná-las públicas no repositório, é preciso que um usuário revisor o avalie. Com isso, verificou-se que apesar de estar associada a uma plataforma de apoio à acessibilidade por meio da AD, esta não corresponde diretamente a ideia principal do *Guidelines ProAut*, que fornece um repositório de recomendações.

Outra ferramenta com o objetivo que se assemelha, é a *AccessibilityUtil.com*, uma ferramenta de colaboração de experiências em acessibilidade na Web, onde é possível “criar artefatos, visualizar os já presentes e fazer avaliações, inserindo suas experiências e decisões de projeto, contribuindo com relatos de uso e técnicas para se ter a completude dos critérios de acessibilidade para cada artefato” [Bittar et al. 2011]. Esse repositório tem como objetivo, disponibilizar práticas de acessibilidade advindas da experiência de desenvolvedores, focando nas boas práticas de ambiente *Web*, relacionando com as diretrizes de acessibilidade do *World Wide Web Consortium* (W3C), apresentada em *Web Content Accessibility Guidelines* (WCAG) 2.0.

Semelhante ao *Guidelines ProAut*, o *AccessibilityUtil* possibilita a interação entre os usuários, que podem adicionar as recomendações e/ou artefatos, visualizar as já cadastradas e fazer comentários avaliando quanto aos critérios da WCAG 2.0, de maneira que possam contribuir para complementar as diretrizes de acessibilidade. Diferente e restritamente a proposta apresentada neste artigo, a ferramenta deste estudo foca nas recomendações para projeto de interfaces destinadas a usuários autistas.

Dentre os trabalhos relacionados, o projeto GAIA (Guia de Acessibilidade de Interfaces Web com foco em aspectos do Autismo) de Britto e Pizzolato (2016) é o mais similar com o objetivo do *ProAut*. Embora a proposta do guia esteja relacionada a um repositório com o objetivo de prover um conjunto de diretrizes de *design* adequados às necessidades de crianças com autismo, este apenas publica as recomendações, baseando-se nas sugestões de diretrizes coletadas que passaram por um processo de identificação, sistematização e consolidação das recomendações propostas.

Portanto, o Guia de Acessibilidade - GAIA oferece somente uma coleção de recomendações e o seu processo difere do *Guidelines ProAut*, pois possui o formato e a estrutura de um *blog*, não estabelecendo a colaboração entre os usuários, visto que não existem funcionalidades que permitam a interação em sua plataforma. Diante disso, todas as postagens das diretrizes e seus artefatos são inseridos por administradores do site. Apesar de ter uma mediação na inclusão de contribuições ao repositório, dificultando a contribuição dos membros da comunidade, isso pode ser uma estratégia para manter a qualidade das informações disponibilizadas no repositório.

A partir dos trabalhos correlatos, percebe-se que há diferentes escopos e objetivos em cada estratégia proposta apresentada para o desenvolvimento com acessibilidade, buscando a melhoria de interfaces de produtos destinadas às pessoas que necessitam de alguma assistência.

Como observa Bittar et al. (2011), consideram-se que para as questões de acessibilidade, toda ferramenta que auxilie e forneça boas práticas para o desenvolvimento é válida, basta extrair as contribuições oportunas para cada finalidade, como o ColabAD, com as imagens áudio-descritivas para cegos, o GAIA como um repositório estático, resultante de um estudo que propôs recomendações a partir de uma revisão sistemática e o *AccessibilityUtil* que apresenta boas práticas de ambiente *Web*, relacionando com as diretrizes de acessibilidade do W3C - WCAG 2.0.

Face ao exposto, a Seção 4 proporciona uma análise dessas ferramentas, juntamente com o *Guidelines ProAut*, para verificar conforme as funcionalidades definidas quais se adequam ao Modelo 3C de Colaboração.

3. Guidelines ProAut

O *Guidelines ProAut* é uma plataforma em formato de repositório para dar suporte as fases do desenvolvimento de interfaces direcionadas para usuários autistas utilizando o *ProAut* proposto por Melo, Barreto e Conte (2016). A ferramenta permite que os usuários inseriram suas recomendações com a finalidade de ganhar visibilidade e consistência, sobre as experiências obtidas durante as fases do *ProAut*, ou ainda, sobre as fontes de estudos publicadas em anais, revistas ou sites especializados. A seguir serão descritas a arquitetura do repositório e as suas funcionalidades.

3.1. Arquitetura da ferramenta

O repositório foi desenvolvido utilizando a linguagem de programação PHP juntamente com o *framework Laravel*, por apresentar uma documentação expressiva e rica em componentes, possibilitando o desenvolvimento ágil de todas as funcionalidades do projeto [Laravel 2017]. O projeto foi criado com base no padrão de desenvolvimento MVC (*Model-View-Controller*), sabendo que o *Laravel* possui esse padrão nativo e o mantém atualizado para fornecer a melhor experiência de desenvolvimento em sua utilização.

O MVC é um padrão arquitetural que divide a aplicação em três camadas: modelo, visão e controlador, respectivamente representado pelo gerenciamento dos dados, pela estrutura visual e pelo controle que interpreta e mapeia as ações do usuário. Desse modo, na camada de visão, foi utilizado o *framework Bootstrap* que torna ágil a construção de layouts para *web*, por meio das linguagens HTML, CSS e Javascript, e

por implementar seus componentes responsivos [Bootstrap 2017]. Permitindo ao *Guidelines ProAut* tornar-se adaptável a qualquer formato de dispositivo, tais como, computadores, *smartphones* e *tablets*, desde que tenham suporte aos navegadores (*browser*).

O sistema de gerenciamento de banco de dados escolhido para o projeto foi o MySQL, capaz de responder de forma rápida a demanda de consulta, cadastro, alteração e remoção de dados necessária na aplicação. Em consentimento, a equipe modelou o banco de dados para permitir que os usuários atuem de forma autônoma, inserindo as recomendações sem que seja preciso tratá-las por mediadores da plataforma, como mostra a última versão da modelagem representada pela Figura 3.

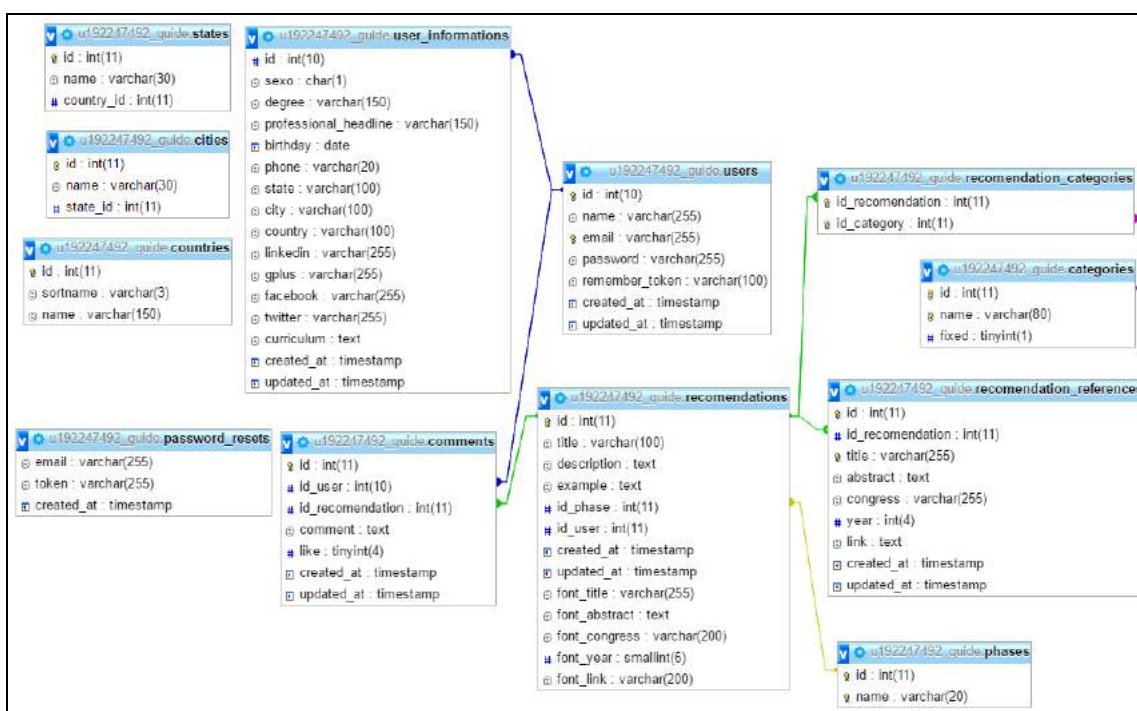


Figura 3. Modelo de dados relacional da ferramenta

A categoria, a fase e os comentários são os elementos primordiais para a classificação das recomendações, com a finalidade de mostrar em que etapa se aplica, quais as categorias que se enquadram e como está sua posição na classificação dos resultados da pesquisa, por meio das opiniões formadas sobre as recomendações.

3.2. Características e Funcionalidades da ferramenta

A ideia para o desenvolvimento da ferramenta partiu da concepção do ProAut, processo que fornece um conjunto de diretrizes/recomendações que surge a partir das experiências adquiridas pela equipe, durante o desenvolvimento de interfaces para quaisquer produtos de software cujo seja utilizado por autistas. O objetivo da plataforma é, portanto, servir de guia e sistema colaborativo para auxiliar equipes de desenvolvimento, visando a utilização das boas práticas fornecidas pelo repositório.

Considera-se um guia, o fornecimento de um conjunto de recomendações para ajudar profissionais a desenvolver interfaces seguindo as experiências compartilhadas pelos usuários. Quanto ao fato de ser colaborativo, dá-se em decorrência de tornar o

repositório um ambiente com espaço de informação compartilhada, permitindo que quaisquer usuários insiram as recomendações de acessibilidade para autistas, desde que atendam aos critérios de cadastro, com o preenchimento completo das informações.

Esse repositório conta com funcionalidades para manter o perfil do usuário e as diretrizes. Ambos os cadastros são detalhados para apresentar a plataforma com maior grau de seriedade. Para isso, os dados mantidos do usuário referem-se ao seu perfil, e informações como data de nascimento, sexo, escolaridade, profissão e redes sociais, são guardadas. Para a diretriz são exigidos os dados que a caracterizam e também sobre a(s) sua(s) referência(s).

Cada recomendação permite que sejam inseridas uma ou mais referências, para mostrar que possui embasamento para a sua disponibilização. Informações sobre o título da diretriz, fase, categoria(s), descrição e exemplo de uma aplicação concluem esta parte, enquanto dados como título da referência, resumo, anais ou revista, ano e link servem para certificar que a recomendação apresenta experiências com credibilidade, pois para a inserção é preciso obrigatoriamente informar estes campos.

Haverá sempre uma referência obrigatória para ser cadastrada para a diretriz, mesmo que esta seja baseada exclusivamente por experiências vividas e não publicadas, e somente neste caso, os campos sobre as referências poderão ser apontados para o perfil pessoal do responsável. De outra maneira, se houver a necessidade de incluir outras, é preciso acessar a tabela de exibição das recomendações, que fornece acesso para as cadastradas pelo próprio usuário, para realizar o cadastro de nova(s) referência(s).

Ao criar a recomendação, automaticamente esta ficará visível para todos os usuários, que poderão visualizá-la previamente através de uma lista (Figura 4). Após selecioná-la dentre as demais, será exibida com todas as informações, mostrando os detalhes sobre ela, como é evidenciado pela Figura 5, assim como o espaço para comentar, inserindo a opinião a respeito da diretriz selecionada.

Para realizar um comentário sobre a recomendação, é necessário que o usuário efetue o *login*. Essa contribuição aparecerá no formato de uma opinião, identificando se este concorda ou discorda. Por consequência, estas avaliações reforçam a colaboração na ferramenta, por expor as recomendações de quaisquer usuários e também por permitir receber opiniões de terceiros, reportando os diferentes pontos de vista de quem contribui e comenta através da plataforma.

O repositório, disponibiliza funcionalidades para otimizar o seu uso, como o cadastro simultâneo de múltiplas diretrizes, a partir de uma planilha, a pesquisa avançada e o *download* dos resultados da pesquisa. Para isso, estimando um melhor posicionamento desses resultados, foi utilizada como base a classificação ao comentar, para retornar nas primeiras posições da lista aqueles que tiverem mais classificações positivas.

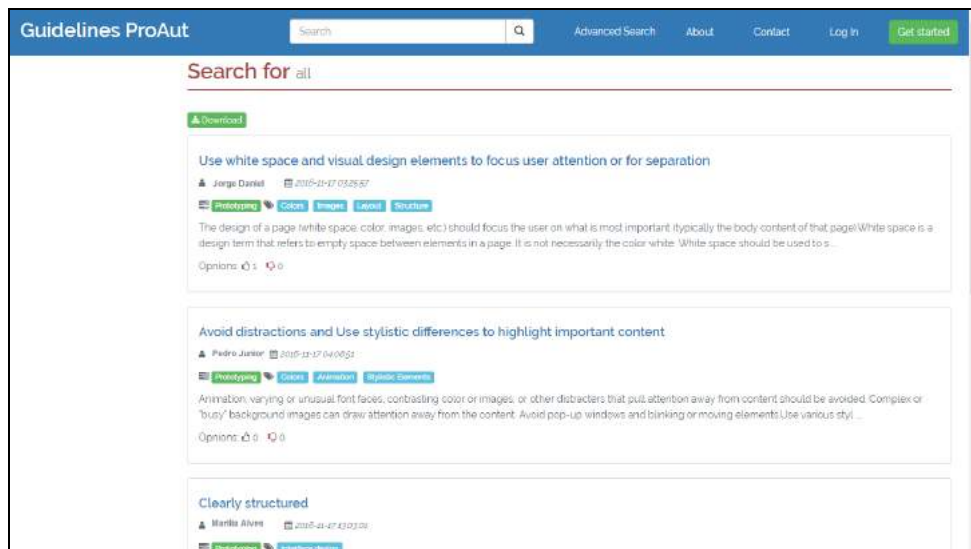


Figura 4. Lista de Recomendações disponíveis na plataforma

O *Guidelines ProAut* além de ser um repositório e disponibilizar as diretrizes/recomendações, também permite aos usuários contribuir por meio de comentários, fornecendo suas opiniões quanto as recomendações disponibilizadas. Esse conjunto de funcionalidades da ferramenta é focado no conceito da colaboração e segue as características dos elementos do Modelo 3C de Colaboração.

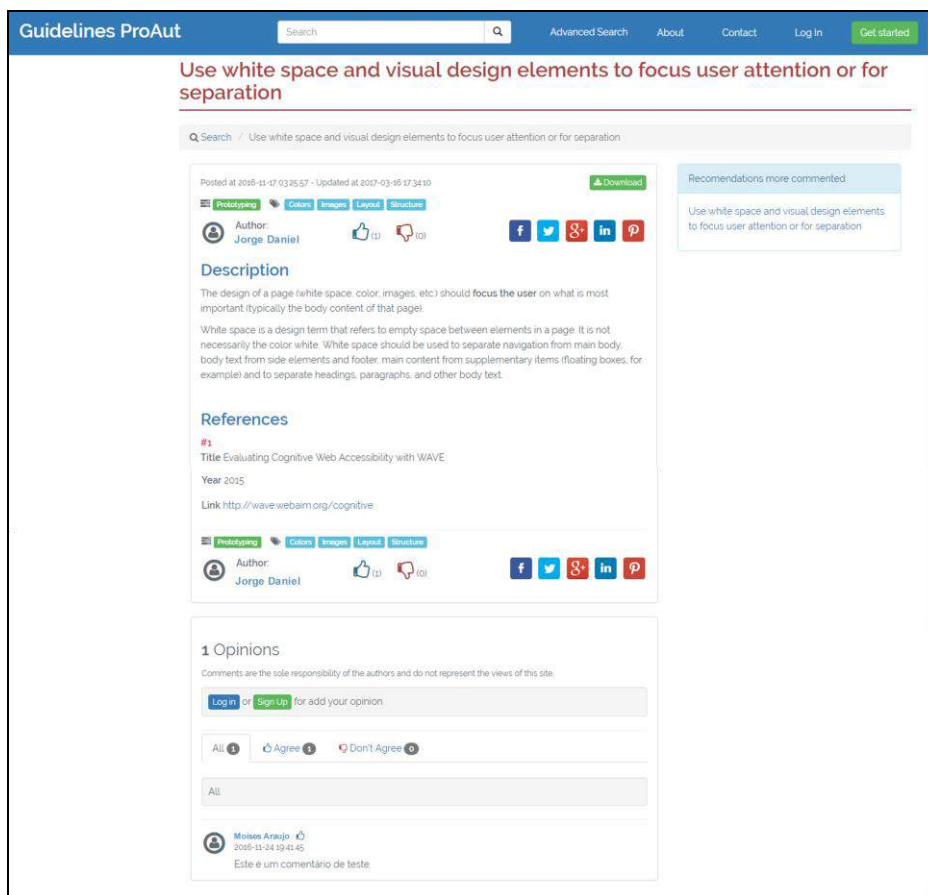


Figura 5. Exibição da Recomendação com um comentário (agree) de teste

Inicialmente o repositório apresentará as recomendações inseridas a partir das pesquisas realizadas em Melo, Barreto e Conte (2016), que estarão disponíveis aos usuários para a coleta do *feedback* através dos comentários com as opiniões fornecidas ao concordar ou discordar sobre o que foi relatado como diretriz. A plataforma também permite a inserção de recomendações por quaisquer usuários devidamente cadastrados, que ao cadastrar uma diretriz com todas as informações obrigatórias, esta ficará disponível assim como as demais existentes, para os julgamentos realizados pela comunidade de usuários do *Guidelines ProAut*.

4. Modelo 3C de Colaboração aplicado as ferramentas correlatas e ao *Guidelines ProAut*

Como visto, comumente, o Modelo 3C de Colaboração é usado para classificar os Sistemas Colaborativos. Estes, por sua vez, integram um conjunto de funcionalidades que contribuem para comunicação, coordenação e cooperação. A partir disso, as funções essenciais dos repositórios foram aqui classificadas segundo o modelo de colaboração.

A Tabela 1 apresenta as funcionalidades com a sua abrangência nas ferramentas e conforme o enquadramento em um ou mais elementos que compõem o modelo 3C. Funções tais como: criar conta e exibir perfil de usuário, cadastrar um objeto de colaboração pela plataforma ou muitos de uma vez, a partir de uma planilha, editar, listar e exibir objeto de colaboração, realizar comentário, demonstrando concordar ou discordar sobre o objeto de colaboração, realizar pesquisas simples e avançadas e, realizar o *download* dos resultados da pesquisa, também em formato de uma planilha.

Dentre as ferramentas analisadas, identificou-se que, somente a GAlA, não contém mecanismos para dar suporte aos três elementos. Pois, o projeto em questão, foca apenas em compartilhar as recomendações, servindo de guia para os profissionais que desejam saber sobre as diretrizes de acessibilidade para interfaces. Em vista disso, esta ferramenta somente atende a funcionalidade de “exibir objeto de colaboração”, que apenas se enquadra na comunicação, não oferecendo suporte aos outros dois elementos.

As demais atenderam aos critérios do modelo colaborativo. Cada uma apresentando as funcionalidades que lhes eram pertinentes de acordo com os seus objetivos. Por exemplo, o ColabAD é uma plataforma que permite a atuação dos 3C’s na função de “edição do objeto de colaboração”, formando uma rede de colaboradores áudio-descritores, que permite a edição por usuários com perfis distintos em diferentes etapas, atuando de forma livre, porém de maneira comprometida em prover uma áudio-descrição de qualidade. De modo que ao final, seja publicada uma imagem que passou por identificação dos usuários, por meio de um processo efetuado por pessoas capacitadas para a realização da AD de imagens, buscando atender as expectativas dos usuários finais.

Nesse arcabouço de ferramentas, assim como o *Guidelines ProAut*, a que mais proporciona funcionalidades que consente com os elementos definidos pelo modelo 3C, é a *AccessibilityUtil*, ao empregar o conceito de colaboração aplicado ao repositório, tendo as recomendações sendo de inteira responsabilidade dos usuários. Dessa maneira, os artefatos, objeto de colaboração assim denominados por eles, podem ser inseridos por quaisquer usuários que de modo colaborativo elaboram o conteúdo da ferramenta. Das funções listadas apenas as que atuam para otimizar o uso da ferramenta, não abrangem

as funcionalidades do *AccessibilityUtil*, como a pesquisa avançada, o cadastro a partir de uma planilha, possibilitando a inserção de várias recomendações de uma vez, e o *download* dos resultados da pesquisa também em arquivo no formato de planilha.

Tabela 1. Tabela comparativa das funcionalidades classificadas de acordo com o Modelo 3C de Colaboração

Funcionalidades	COMUNICAÇÃO	COORDENAÇÃO	COOPERAÇÃO
Criar conta como usuário		Guidelines ProAut; ColabAD; AccessibilityUtils	
Exibir Perfil de usuário		Guidelines ProAut; AccessibilityUtils	
Cadastrar Objeto de Colaboração	Guidelines ProAut; ColabAD; AccessibilityUtils	Guidelines ProAut; ColabAD; AccessibilityUtils	
Cadastrar múltiplos Objetos de Colaboração a partir de uma planilha.	Guidelines ProAut;	Guidelines ProAut;	
Editar Objeto de Colaboração	Guidelines ProAut; ColabAD;	Guidelines ProAut; ColabAD;	ColabAD;
Listar Objetos de Colaboração		Guidelines ProAut; ColabAD; AccessibilityUtils	Guidelines ProAut; ColabAD; AccessibilityUtils
Exibir Objeto de Colaboração		Guidelines ProAut; ColabAD; AccessibilityUtils; GAIA	Guidelines ProAut; ColabAD; AccessibilityUtils
Realizar comentários sobre os Objetos de Colaboração	Guidelines ProAut; AccessibilityUtils	Guidelines ProAut; AccessibilityUtils	Guidelines ProAut; AccessibilityUtils
Concordar ou Discordar do Objeto de Colaboração	Guidelines ProAut; AccessibilityUtils	Guidelines ProAut; AccessibilityUtils	Guidelines ProAut; AccessibilityUtils
Realizar pesquisas simples		Guidelines ProAut; AccessibilityUtils	
Realizar pesquisas avançadas		Guidelines ProAut;	
Download dos resultados da pesquisa		Guidelines ProAut;	

O repositório, foco deste artigo, apresenta como funcionalidades de comunicação, aquelas associadas a troca de informações. Neste caso em específico, foi aplicada somente de forma assíncrona, através do cadastro e edição de objetos de colaboração e da realização de comentários, concordando ou não sobre a diretriz. Casos específicos em quem as funções fornecem facilidades para permitir a troca de ideias, por meio das argumentações nas recomendações e das opiniões expostas.

Para a coordenação, todas as funcionalidades foram abrangidas, pois esta lida com a organização e o gerenciamento de toda a plataforma, atuando para garantir que as demais funções operem da maneira correta. Já para a cooperação, em que se destacam as operações realizadas em conjunto para a produção de conteúdo em um ambiente compartilhado, as funcionalidades compreendidas neste elemento são a lista e exibição dos objetos de colaboração, representados respectivamente pelas recomendações listadas a partir das pesquisas no repositório e pela apresentação da recomendação selecionada, que exibe ao final as opiniões a respeito da experiência levantada, identificando se os usuários concordam ou não concordam com a diretriz.

Observando a abordagem dos elementos presentes nas funcionalidades do repositório *Guidelines ProAut*, percebeu-se que o Modelo 3C de Colaboração ajuda a organizar e gerenciar os compromissos assumidos durante a interação entre os usuários e a realização do trabalho colaborativo através da soma dos trabalhos individuais, assegurando o entendimento e a negociação entre as partes envolvidas. Quando ao publicar uma recomendação, permitir que os usuários através da ferramenta tenham a opção de comentar e com isso expor suas opiniões quanto a diretriz em questão, para construir um entendimento comum, trocar ideias, discutir e aprender, como forma de alinhar e refinar as ideias, para a disseminação da experiência abordada.

5. Conclusão e Trabalhos Futuros

O Modelo 3C de Colaboração aplicado ao uso do *Guidelines ProAut*, visa oferecer suporte para que os usuários se tornem responsáveis ao contribuir com as suas experiências em formato de recomendações e, também, ao argumentar e dinamizar por meio de comentários, fornecendo diretrizes consistentes e consolidadas para guiar no uso das boas práticas para o desenvolvimento de produtos de software, com suporte para a acessibilidade de pessoas com autismo.

Dessa forma, o repositório auxilia o usuário ao exercer três atividades essenciais: comunicar-se, coordenar-se e cooperar, a partir dos recursos oferecidos no ambiente, guiando-os através da utilização das recomendações compartilhadas por outros usuários. Com isso, estes atuarão de forma colaborativa para disponibilizar diretrizes enquadradas nas fases de desenvolvimento do *ProAut*.

O repositório apresenta um espaço para expor além das diretrizes, as opiniões dos demais usuários, evidenciando que o foco não está em somente apresentá-las sem que haja a possibilidade de interações. Por isso, a ferramenta apresenta-se em formato colaborativo, de modo que preza pelas contribuições das experiências vivenciadas pelos usuários, permitindo com a devida permissão apresentar os diferentes pontos de vistas.

A colaboração traz resultados positivos tanto para os colaboradores ativos de conteúdo quanto para os visualizadores de experiências, pois o primeiro se beneficia por

apresentar diretrizes buscando *feedbacks*, para ganhar visibilidade e consistência sobre elas, enquanto que o outro é favorecido por receber o apoio de recomendações resumidas e de fácil entendimento para a sua aplicação no processo de desenvolvimento.

Portanto, o objetivo deste trabalho é apresentar a aplicação do Modelo 3C ao uso do repositório *Guidelines ProAut*, influenciando o ambiente através da colaboração, ao oferecer suporte aos 3C's: comunicação, coordenação e cooperação. Evidenciando que dentro dos limites da liberdade de expressão é possível constituir uma base de recomendações sobre acessibilidade destinadas a autistas, escopo esse delimitado para melhor filtrar e se encaixar em um grupo dedicado e interessado por essa especialidade.

Como resultados parciais básicos foi aplicado um teste piloto com um profissional da área de Interação Humano Computador, que sugeriu melhorias no *design* da aplicação. De modo que o resultado da busca trouxesse informações das recomendações, quanto a fase na qual se encontra, as categorias relacionadas e a classificação, representadas pela contribuição dos usuários através dos comentários.

Para os trabalhos futuros pretende-se realizar testes de comunicabilidade e de usabilidade, de forma que se possa validar a ferramenta nesses âmbitos, buscando receber *feedback* sobre o design e o nível de satisfação do usuário, ao observar até que ponto há a facilidade de uso e a capacidade de compreensão, diante da interação. Além disso, uma extensão da ferramenta seria incluir a funcionalidade de indicação das recomendações mais adequadas, a partir dos parâmetros de características do projeto.

Referências

- American Psychiatric Association. (2013). “DSM-5th: Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders”. 5th ed. American Psychiatric Press
- Alessandrini, A., Cappelletti, A., and Zancanaro, M. (2014). “Audio-augmented paper for therapy and educational intervention for children with autistic spectrum disorder.” In *International Journal of Human-Computer Studies*, 72(4), 422-430
- Bittar, T. J.; Amaral, L. A.; Lobato, L. L. and Fortes, R. P. M. (2011). “AccessibiltyUtil.com: uma ferramenta para colaboração de experiências de acessibilidade na web”. In *Webmedia 2011 – Proceedings of the 17th Brazilian Symposium on Multimedia and the Web. X Workshop on Tools and Applications*.
- Britto, T. C. P. and Pizzolato, E. B. (2016) “GAIA: uma proposta de um guia de recomendações de acessibilidade de interfaces Web com foco em aspectos do Autismo”. In *Anais do XXVII Simpósio Brasileiro de Sistemas Colaborativos*.
- Bootstrap - The world's most popular mobile-first and responsive front-end framework. Disponível em: <http://getbootstrap.com/>. Acesso em: 28 de Fevereiro de 2017
- Fuks, H.; Raposo, A.; Gerosa, M. A.; Pimentel, M.; Filippo, D. and Lucena, C. J. P. (2011) “Teorias e Modelos de Colaboração” In Pimentel, M. and Fuks, H. (Org.). **Sistemas Colaborativos**. Rio de Janeiro: Elsevier. cap. 2, p. 16-33.
- Furtado, A., and Andrade, N. (2011) “Ativistas, passageiros, ocasionais e especialistas: Perfis de usuário na construção de um site de Q&A”. In *Anais do VIII Simpósio Brasileiro de Sistemas Colaborativos*.

- Gerosa, M. A. (2006) “Desenvolvimento de Groupware Componentizado com Base no Modelo 3C de Colaboração” Rio de Janeiro. 275p. Tese de Doutorado – Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.
- Gerosa, M. A., Fuks, H., and Lucena, C.J.P. (2003), “Suporte à Percepção em Ambientes de Aprendizagem Colaborativa”, In Revista Brasileira de Informática na Educação, V. 11, No. 2, Setembro 2003, ISSN 1414-5685, Sociedade Brasileira de Computação, pp. 75-85.
- Laravel - The PHP Framework For Web Artisans. Disponível em: <https://laravel.com/>. Acesso em: 28 de Fevereiro de 2017
- Nicolaci-da-Costa, A. M. and Pimentel, M. (2011) “Sistemas Colaborativos para uma nova sociedade e um novo ser humano” In: Pimentel, M. and Fuks, H. (Org.). **Sistemas Colaborativos**. Rio de Janeiro: Elsevier. cap. 1, p. 3-15.
- Melo, A. H. da S.; Barreto, R. and Conte, T. (2016) “ProAut: Um Processo para Apoio de Projetos de Interface de Produtos de Software para Crianças Autistas”. In Cadernos de Informática – Vol. 9, n. 1 (outubro. 2016). Porto Alegre: Instituto de Informática UFRGS, 2013. p. 27-41.
- Pimentel, M.; Gerosa, M. A.; Filippo, D.; Raposo, A.; Fuks, H. and Lucena, C. J. P. (2006) “Modelo 3C de Colaboração no Desenvolvimento de Sistemas Colaborativos”. In Anais do III Simpósio Brasileiro de Sistemas Colaborativos, Natal - RN, 20 a 22 de Novembro de 2006. ISBN 85-7669-097-7. Porto Alegre: SBC, 2006. p. 58-67.
- Silva, J. F. da; Nora, T. D; Bertolini, C. and Gomes, J. (2016) “ColabAD: Sistema Colaborativo de Áudio-descrição” In: Anais do EATI - Encontro Anual de Tecnologia da Informação e STIN – Simpósio de Tecnologia da Informação da Região Noroeste do RS. Frederico Westphalen – RS. Ano 6 n. 1 p. 260-263.

Caracterização de Opressão de Gênero em Redes Sociais a partir de Violações dos Princípios de Afetibilidade: Um estudo de caso no Facebook

Rafael S. M. Ferreira¹, Glívia A. R. Barbosa¹, Carolina Andrade¹, Ismael S. Silva¹, Flávio R. S. Coutinho¹

¹Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG). Av. Amazonas, 7675 - Nova Gameleira - Belo Horizonte, MG – Brasil.

r.salemf@gmail.com, gliviabarbosa@decom.cefetmg.br,
profcarolinariente@gmail.com, ismaelsantana@decom.cefet.br,
coutinho@decom.cefetmg.br

Resumo. *Este trabalho buscou investigar e caracterizar, por meio de um estudo de caso no Facebook, a aplicabilidade dos princípios de afetibilidade para caracterizar opressão de gênero em redes sociais online. Os resultados demonstraram que o grau de afetibilidade do Facebook reflete em possíveis casos de opressão para pessoas Lésbicas, Gays, Bissexuais e Trans (LGBT). Logo, uma avaliação guiada pelos princípios de afetibilidade pode auxiliar na caracterização de situações potencialmente opressoras para esse grupo de usuários.*

1. Introdução

Com o intuito de manter os usuários engajados na utilização contínua de softwares sociais, projetistas e pesquisadores (e.g., Barbosa e outros (2013) e Tomagnini e outros (2016)) têm investigado a aplicabilidade da adoção de estratégias de qualidade de uso (e.g., colaboração e sociabilidade) nos modelos de interface e interação desse tipo de sistema. Nessa direção, uma linha de investigação que começa a ser explorada refere-se à incorporação e avaliação de afetibilidade em sistemas, com a finalidade de promover aspectos afetivos a partir da interação [Hayashi et al. 2013][Hayashi et al. 2015].

Porém, apesar dos esforços mencionados, alguns aspectos que caracterizam as necessidades e preferências de determinados grupos de usuários, como a identidade de gênero e orientação sexual, nem sempre são suficientemente contemplados nos modelos de interface e interação dos sistemas [Pereira e Baranauskas, 2015].

A negligência desses aspectos traz impactos negativos na experiência dos usuários (i.e., comprometem a afetibilidade). Essa afirmação é justificada pelo trabalho realizado por Pereira e Baranauskas (2015), que demonstrou como decisões de *design* dos softwares sociais têm influenciado na reprodução de opressões baseadas na sexualidade dos indivíduos. Esse trabalho traz à tona a discussão sobre as consequências negativas que a opressão de gênero pode gerar (e.g., baixa afetibilidade para os usuários que se sentem oprimidos) durante a interação mediada por esse tipo de sistema [Hayashi et al. 2013][Pereira e Baranauskas, 2015][Hayashi et al. 2015].

Um grupo suscetível à opressão de gênero é o público formado por pessoas Lésbicas, Gays, Bissexuais e Trans (LGBT), por não se enquadrar nas definições da sociedade em relação à orientação sexual e identidade de gênero [Butler,1999][Pereira e Baranauskas, 2015]. Para exemplificar uma ocorrência de opressão de gênero por meio

de interfaces, Kannabiran e Petersen (2010) demonstraram que, ao limitar o cadastro de perfil as opções feminino e masculino, o Facebook oprimia os usuários que não se identificavam com essas duas opções de gênero, comprometendo a afetibilidade desse sistema para o público oprimido.

Motivados pelo desafio de identificar e evitar casos de opressão de gênero no modelo de interface e interação dos softwares sociais e considerando a hipótese de que a afetibilidade de um sistema pode refletir sobre a opressão, este trabalho tem como objetivo caracterizar a aplicabilidade dos princípios de afetibilidade para identificar opressão de gênero em redes sociais *online*. Para isso, foi realizado um estudo de caso no Facebook, considerando usuários LGBTs. O Facebook foi analisado na perspectiva de especialistas em Interação Humano Computado (IHC) e usuários de modo a investigar se o grau de afetibilidade dessa rede social *online* reflete em possíveis casos de opressão para o público LGBT. O Facebook foi escolhido para o estudo de caso por ser a rede social *online* mais utilizada no mundo, inclusive no Brasil [Duggan et al. 2014][Duggan e Page, 2015].

Em termos de resultados, além de caracterizar o grau de afetibilidade do Facebook, relacionando-o com a opressão de gênero para o público LGBT, este trabalho discute a aplicabilidade dos princípios de afetibilidade para identificar e evitar opressão no modelo de interface e interação de redes sociais. Isso é relevante uma vez que, segundo Pereira e Baranauskas (2015), existe a demanda por trabalhos que abordem formas de projetar e/ou avaliar sistemas de modo a identificar e evitar opressão, independente do grupo de usuários. Visando essa demanda, o trabalho aqui proposto mostra como os princípios de afetibilidade podem ser úteis nesse contexto.

Dessa forma, esse trabalho contribui para que os projetistas de redes sociais *online* possam refletir sobre a importância de se endereçar os princípios de afetibilidade em suas soluções tecnológicas, evitando consequências negativas, como a opressão durante a interação. Contribui também para que a afetibilidade se consolide como uma importante qualidade de uso de sistemas e para a consolidação do MIS como um método para identificar estratégias de qualidade de uso. A metodologia proposta pode ser explorada por outros pesquisadores para avaliar tanto afetibilidade quanto opressão em interfaces, já que é crescente a demanda por esse tipo de avaliação [Hayashi et al. 2013][Pereira e Baranauskas, 2015][Hayashi et al. 2015].

2. Trabalhos Relacionados

Na literatura, existem diferentes trabalhos que abordam tanto a afetibilidade no contexto de interface e interação em sistemas, quanto a opressão de gênero no mesmo contexto. A afetibilidade como qualidade de uso foi apresentada por Hayashi e outros (2013), que propuseram os Princípios de Afetibilidade como diretrizes para auxiliar projetistas no *design* e *redesign* de sistemas voltados para a prática educacional, de forma a incorporar conceitos de afeto e emoção nesse processo.

Fora do âmbito educacional, o trabalho de Hayashi e outros (2015) demonstrou a aplicabilidade dos Princípios de Afetibilidade na construção de aplicativos móveis, a partir do *design* participativo. Foram desenvolvidos protótipos de sistemas que demonstraram o entendimento dos participantes em relação ao conceito de afeto, além da aplicação dos princípios na elaboração de interfaces.

Em relação à opressão em interfaces, o estudo de caso realizado por Kannabiran e Peterson (2010) demonstrou como o Facebook pode exercer uma força negativa sobre usuários LGBTs, ao questioná-los sobre seu gênero, mas limitar suas opções de resposta, excluindo qualquer um que não se identifique com as alternativas apresentadas. Posteriormente, Pereira e Baranauskas (2015) conduziram um estudo exploratório para investigar como as interfaces de sistemas digitais, inclusive o Facebook, reproduzem opressão baseada em identidade de gênero e orientação sexual.

Uma vez que a afetibilidade, no contexto de interação, está relacionada aos sentimentos e emoções que podem ser estimulados durante a utilização de sistemas interativos, e essas reações podem ser positivas (e.g., sentimento de alegria) ou negativas (e.g., sentimento de opressão) [Boehner et al. 2007][Hayashi et al. 2013][Pereira e Baranauskas, 2015][Hayashi et al. 2015], o presente trabalho se difere dos demais porque busca investigar a aplicabilidade dos Princípios de Afetibilidade para identificar ocorrências de opressão de gênero para usuários LGBTs em redes sociais *online*.

3. Metodologia

Considerando o objetivo deste trabalho, as seguintes questões de pesquisa foram investigadas: “*O grau de afetibilidade do Facebook reflete em possíveis casos de opressão para usuários LGBTs?*” e “*É possível utilizar os princípios de afetibilidade para avaliar a opressão?*”. A metodologia adotada para responder essas questões consistiu em uma abordagem dividida em 2 fases, subdivididas em etapas.

A primeira fase buscou caracterizar a afetibilidade e opressão de gênero no contexto de IHC para usuários LGBTs. Inicialmente foi conduzida uma revisão bibliográfica para (1) identificar os princípios de afetibilidade para sistemas interativos e (2) caracterizar as decisões no modelo de interface e interação de sistemas que podem refletir em opressão para usuários LGBTs.

Finalmente, foi realizado um mapeamento para demonstrar como a violação dos princípios de afetibilidade pode refletir nas situações potencialmente opressoras identificadas nos modelos de interface e interação dos sistemas. Esse mapeamento foi conduzido por dois especialistas em IHC, com mais de cinco anos de experiência na área, e um especialista em Psicologia, que atua diretamente no tratamento de pessoas LGBTs oprimidas.

A segunda fase buscou caracterizar, sob a perspectiva de especialistas e de usuários, se o grau de afetibilidade do Facebook reflete em possíveis casos de opressão para usuários LGBTs. Para isso, inicialmente foi conduzida uma inspeção na interface do Facebook, utilizando o Método de Inspeção Semiótica (MIS) [de Souza et al. 2006], para identificar por meio da metamensagem do *designer* e das potenciais rupturas de comunicação: (1) como o Facebook endereça os princípios de afetibilidade em seu modelo de interação e interface e (2) os impactos do grau de afetibilidade dessa rede social na opressão de gênero para usuários LGBTs.

O MIS foi utilizado nessa etapa porque trabalhos como os realizados por Reis e Prates (2011), Barbosa e outros (2013) e Tomagnini e outros (2016), demonstraram a aplicabilidade desse método para identificar as estratégias de *design* comunicadas na interface que visam potencializar determinadas qualidades de uso (e.g., gamificação, sociabilidade e privacidade). A avaliação utilizando esse método foi conduzida por dois

especialistas em IHC, sendo que um deles tem mais de oito anos de experiência na aplicação do MIS no contexto de avaliação de sistemas colaborativos.

Na sequência, foi aplicado um questionário *online* para caracterizar a afetibilidade e opressão no Facebook, sob a perspectiva dos usuários LGBTs. Finalmente, foi realizada a triangulação dos resultados para: (1) caracterizar a maneira como a afetibilidade no Facebook reflete na opressão de gênero e (2) discutir a aplicabilidade dos princípios de afetibilidade para caracterizar opressão de gênero em redes sociais *online*.

4. Afetibilidade e Opressão de Gênero no Contexto de Interação

Por meio de uma revisão bibliográfica esse trabalho buscou caracterizar a afetibilidade e opressão de gênero no contexto de IHC para usuários LGBTs. As buscas foram realizadas no Google Scholar¹ e nos principais repositórios de pesquisas relacionados à área de Computação, IEEE Xplore², ACM Digital Library³, Springer⁴ e HCI Bib⁵. A *string* de pesquisa contemplava os seguintes termos (em português e, respectiva, tradução em inglês): afetibilidade, opressão de gênero, redes sociais *online*.

Essa revisão foi conduzida por dois especialistas em IHC e um especialista em Psicologia com o objetivo de demonstrar como a violação dos princípios de afetibilidade pode refletir nas situações potencialmente opressoras identificadas nos modelos de interface e interação dos sistemas. A seguir, os principais resultados são apresentados.

4.1. Afetibilidade em Sistemas Interativos

A partir dessa pesquisa foi possível constatar que, conforme apontado por Boehner e outros (2007), o afeto é um conceito que abrange condições como emoções, sentimentos, preferências e humores, e está relacionado a valores atribuídos a algo ou alguém, de forma positiva ou negativa. Portanto, a abordagem ao afeto deve ser realizada considerando a singularidade de cada indivíduo.

No contexto de IHC, a afetibilidade (ou grau de afeto) refere-se às respostas afetivas que um usuário pode experimentar ao interagir com um sistema [Hayashi et al. 2015]. Com o intuito de maximizar a afetibilidade durante o uso de sistemas interativos, foram propostos os Princípios de *Design* para Afetibilidade [Hayashi et al. 2015], que podem ser utilizados como referência tanto para o projeto, quanto para avaliação de sistemas. A Tabela 1 lista os Princípios de Afetibilidade para IHC apresentados por Hayashi e outros (2015).

Seguir os princípios de afetibilidade no *design* e/ou avaliação pode potencializar o afeto entre o usuário e o sistema durante a interação. Isso porque, embora não seja possível garantir que o afeto seja influenciado exclusivamente por essas diretrizes, adotá-las na interface visa maximizar a experiência satisfatória do usuário durante a interação. Caso contrário, não considerar a afetibilidade durante a concepção de um

¹ Google Scholar - <https://scholar.google.com.br/>

² IEEE Xplore - <http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp>

³ ACM Digital Library - <http://dl.acm.org/>

⁴ Springer - <http://www.springer.com/br/>

⁵ HCI Bib - <http://hcibib.org/>

sistema, pode refletir em sentimentos negativos a partir da interação, como por exemplo, a opressão [Pereira e Baranauskas, 2015][Hayashi et al. 2015].

Tabela 1. Princípios de Afetibilidade para Sistemas Interativos

Cód.	Nome do Princípio	Descrição	Exemplo em Interfaces
PAf1	Permitir a comunicação de estados afetivos	O afeto deve ser expressado e interpretado de forma livre por cada usuário.	A personalização de fotos no Snapchat, por meio de desenhos, stickers e filtros.
PAf2	Considerar o contexto social do usuário (cultura e valores)	Deve-se considerar a cultura e valores humanos importantes para o usuário alvo no <i>design</i> .	Os <i>doodles</i> que o Google mostra em sua página inicial representando datas comemorativas.
PAf3	Possibilitar <i>tailoring</i>	O usuário tem permissão para inserir seu próprio conteúdo e personalizar elementos do sistema.	A personalização de perfil de usuário e preferências em redes sociais.
PAf4	Promover a construção colaborativa	O usuário tem permissão contribuir uns com os outros durante a interação.	Waze, que permite que o usuário insira informações sobre o estado do trânsito, o que será disseminado para outros.
PAf5	Promover <i>awareness</i> social	O usuário consegue identificar a presença ou estado dos outros usuários.	Jogos <i>online</i> , como Candy Crush, que mostram para o usuário a posição de cada amigo que também joga.
PAf6	Explorar a “contaminação” via mídia	Explorar diferentes mídias como sons, imagens e cores.	Jogos <i>online</i> , que exploram imagens e diferentes resultados sonoros para diferentes ações.

4.2. Opressão de Gênero para Usuários LGBTs em Sistemas Interativos

A construção de um sistema empregando o conceito de afetibilidade deve considerar o contexto no qual o usuário está inserido, além de aspectos que envolvam as particularidades de cada indivíduo [Hayashi et al. 2013][Hayashi et al. 2015]. Fatores da sexualidade humana (e.g., a identidade de gênero), porém, costumam ser negligenciados, levando a chamada opressão de gênero e a uma baixa afetibilidade para o grupo oprimido [Pereira e Baranauskas, 2015][Hayashi et al. 2015].

A identidade de gênero se relaciona com a maneira como a pessoa se enxerga e é comumente associada à genitália do indivíduo, caracterizando-o como homem ou mulher. Porém, essas duas classificações são pontos extremos entre os quais a identidade de gênero de uma pessoa pode se encontrar. Já a maneira como um indivíduo expressa sua identidade de gênero é chamada de expressão de gênero, sendo caracterizada, por exemplo, pela forma como o indivíduo se veste, age e se comporta. Assim como a identidade de gênero, a expressão de gênero consiste em um espectro dentro do qual um indivíduo tem infinitas maneiras de se encontrar [Killermann, 2011].

Essas duas características são comumente associadas ao sexo biológico do indivíduo, observado não só pela genitália, mas também por características como hormônios e cromossomos. Porém, além dos sexos masculino e feminino, existem pessoas intersex, nascidas com características biológicas de ambos os sexos. Algumas pessoas identificam seu gênero com o sexo atribuído, essas são conhecidas como cisgêneras. Por sua vez, as pessoas transgêneras são aquelas que não se identificam com o sexo designado [Killermann, 2011][Butler,1999][Pereira e Baranauskas, 2015].

A orientação sexual está associada ao objeto de desejo afetivo ou sexual. Indivíduos heterossexuais são aqueles que sentem-se atraídos unicamente por pessoas de outro gênero, enquanto homossexuais se atraem exclusivamente pelo mesmo gênero.

Bissexualidade implica na atração por dois gêneros, enquanto os pansexuais são aqueles atraídos por mais de dois gêneros [Killermann, 2011].

Como argumentado por Butler (1999), a sociedade possui uma regulamentação compulsória de que as pessoas são cisgêneras e heterossexuais. Essa regulamentação é definida como matriz heterossexual, que delimita as características específicas de gêneros, corpos e desejos perpetuados na sociedade. Por exemplo, a matriz heterossexual determina quais ações (e.g., maneiras de se vestir e falar) descrevem um homem ou uma mulher [Butler, 1999]. Desse modo, como as características esperadas pela sociedade para representar determinado indivíduo estão definidas a partir da matriz heterossexual, aqueles que não se identificam com esse tipo de orientação sexual (e.g., pessoas lésbicas, gays, bissexuais e trans (LGBTs)) são excluídos [Butler, 1999].

No contexto de IHC, um exemplo dessa exclusão pode ser verificado quando uma rede social *online* limita o usuário às opções: feminino ou masculino para a caracterização de seu perfil, desconsiderando outras identidades de gênero (e.g., pessoas trans). Desse modo, para expressar sua identidade, o usuário procura outras formas, como escrevê-la na seção de biografia [Pereira e Baranauskas, 2015].

Esse exemplo demonstra uma situação em que o sistema oprime um usuário LGBT, ao proibi-lo de se expressar por meio do recurso específico para identidade de gênero, contribuindo para uma baixa afetibilidade entre esse usuário e o sistema [Hayashi et al. 2013][Pereira e Baranauskas, 2015][Hayashi et al. 2015]. Essa opressão e baixa afetibilidade se tornam mais evidentes quando Pereira e Baranauskas (2015) relatam que pessoas cisgêneras e heterossexuais têm uma menor percepção de casos de opressões nas interfaces, quando comparadas com os usuários LGBTs que, além de perceberem mais essas ocorrências, consideram o grau de opressão um fator importante para a aceitação de um sistema [Pereira e Baranauskas, 2015].

Nesse sentido, Pereira e Baranauskas (2015) conduziram um estudo exploratório para investigar como as interfaces de sistemas digitais reproduzem opressão de gênero e qual o efeito dessa opressão na decisão de uso e no conforto de quem utiliza tais sistemas. A Tabela 2 sumariza as ocorrências de opressão de gênero, identificadas por Pereira e Baranauskas (2015), que podem ser percebidos no modelo de interface e interação de sistemas.

Tabela 2. Ocorrências de Opressão na Interface de Sistemas Interativos

	Código	Nome	Descrição e exemplo em interfaces
Opressões na interface	OcOp 1	Formulários Impróprios ou ausentes	Formulários com informações erradas, como perguntar o sexo do usuário ao invés de seu gênero ou opções restritas, como perguntar se o gênero do usuário é masculino ou feminino.
	OcOp 2	Elementos gráficos impróprios na interface	Cores, imagens e qualquer outro elemento gráfico que contenha informações impróprias, como cores culturalmente associadas a gênero, como rosa sendo feminino e azul, masculino.
	OcOp 3	Texto impróprio ou ofensivo na interface	Texto que contenha elementos que possam ser ofensivos para usuários LGBTs.
Opressões na interação	OcOp 4	Texto impróprio de usuário	Textos ofensivos contra pessoas LGBTs que tenham sido publicados ou propagados por outros usuários, direcionados ou não a um usuário específico.
	OcOp 5	Mídias impróprias propagadas por usuário	Mídias como imagens ou vídeos que contenham discurso ofensivo contra pessoas LGBTs e que sejam publicadas ou compartilhadas por usuários.

	OcOp 6	Ações de usuários motivadas por preconceito	Ações realizadas por usuários com ou sem permissão para administrar conteúdo, que sejam ofensivas ou preconceituosas, como denúncia do perfil porque o usuário é LGBT.
--	--------	---	--

4.3. Reflexo da Afetibilidade na Opressão de Gênero para Usuários LGBTs

Conforme mencionado anteriormente, as ocorrências de opressão afetam na decisão de uso e no conforto (e.g., afetibilidade) de quem utiliza os sistemas interativos [Pereira e Baranauskas, 2015]. Nesse sentido, a partir dos resultados apresentados por Pereira e Baranauskas (2015) e Hayashi e outros (2015), este trabalho buscou mapear como as situações potencialmente opressoras, listadas na Tabela 2, podem estar relacionadas a violações dos princípios de afetibilidade, descritos na Tabela 1.

Esse mapeamento foi conduzido por dois especialistas em IHC e um especialista em Psicologia que atua diretamente no tratamento de pessoas LGBTs oprimidas. Os resultados dessa análise são apresentados na Tabela 3, que explicita os códigos dos princípios de afetibilidade (PAf) violados, a partir de cada ocorrência de opressão (OcOp), e apresenta uma justificativa de porque a referida situação opressora pode refletir na violação do respectivo princípio de afetibilidade.

Tabela 3. Relação entre as Ocorrências de Opressão para Usuários LGBTs e a Violação dos Princípios de Afetibilidade

Cód. Oc. de Opressão	Descrição da Oc. Opressora	Cód. Princ. Afetibilidade Violado	Justificativa da relação entre a situação opressora e a violação da afetibilidade
OcOp 1	Formulários Impróprios ou ausentes	PAf1	Um formulário impróprio impede o usuário de se expressar livremente ao não incluir opções com as quais este se identifica.
		PAf2	Formulários que não contenham opções com as quais o usuário LGBT se identifica foram criados sem considerar esse grupo de pessoas.
		PAf3	O usuário não consegue personalizar o perfil para refletir sua identidade por não lhe terem sido oferecidas opções com as quais se identifique.
		PAf5	Uma das consequências de um usuário não se expressar como deseja é que dificulta o <i>awareness</i> social, ao impedir que os usuários se expressem como desejam para os outros.
OcOp 2	Elementos gráficos impróprios na interface	PAf1	Um elemento gráfico potencialmente opressor pode influenciar um sentimento negativo.
		PAf2	Elementos gráficos potencialmente opressores para pessoas LGBT foram criados sem considerar esse grupo de usuários.
		PAf6	A contaminação por mídia, quando realizada a partir de elementos potencialmente opressores, pode induzir a um sentimento negativo.
OcOp 3	Texto impróprio ou ofensivo na interface	PAf1	Um texto potencialmente opressor pode influenciar um sentimento negativo.
		PAf2	Textos potencialmente opressores para pessoas LGBT foram criados sem considerar esse grupo de usuários.
OcOp 4	Texto impróprio de usuário	PAf1	Um texto potencialmente opressor pode influenciar um sentimento negativo.
		PAf4	A construção colaborativa pode ter como consequência a influência de sentimento negativo quando a contribuição de um usuário é um texto potencialmente opressor.
		PAf5	O <i>awareness</i> social pode ter como consequência a influência de sentimentos negativos quando há usuários publicando textos

			potencialmente opressores.
OcOp 5	Mídias impróprias propagadas por usuário	PAf1	Mídias potencialmente opressoras podem influenciar um sentimento negativo.
		PAf4	A construção colaborativa pode ter como consequência a influência de sentimento negativo quando a contribuição de um usuário é uma mídia potencialmente opressora.
		PAf5	O <i>awareness</i> social pode ter como consequência a influência de sentimentos negativos quando há usuários publicando mídias potencialmente opressoras.
OcOp 6	Ações de usuários motivadas por preconceito	PAf1	Uma ação potencialmente motivada por preconceito pode influenciar um sentimento negativo em usuários LGBT.
		PAf4	A contribuição de uma ação potencialmente motivada por preconceito pode gerar um sentimento negativo em usuários LGBT.
		PAf5	O <i>awareness</i> social pode ter como consequência a influência de sentimentos negativos quando ocorrem ações potencialmente opressoras por parte de usuários.

Por meio da Tabela 3 é possível observar que ocorrências de opressão de gênero podem estar associadas à violação de um ou mais Princípios de Afetibilidade no contexto de usuários LGBTs. Em outras palavras, a violação desses princípios pode induzir o sentimento negativo de opressão.

Considerando o exposto até o momento, a próxima etapa do trabalho consistiu em um estudo de caso no Facebook para discutir se a partir de uma avaliação de afetibilidade é possível caracterizar potenciais ocorrências de opressão de gênero em redes sociais *online*.

5. Afetibilidade e Opressão no Facebook sob a perspectiva de Especialistas

Nesta seção é apresentada a análise da interface do Facebook, utilizando o MIS, que buscou caracterizar a proposta do projetista para potencializar a afetibilidade nessa rede social e, além disso, indicar as potenciais rupturas nessa proposta que refletiam em casos de opressão para usuários LGBTs.

A avaliação foi realizada no período de 20 dias do mês de Agosto de 2016 e conduzida por dois especialistas em IHC, sendo que um deles tem mais de oito anos de experiência na aplicação do método no contexto de avaliação de sistemas colaborativos. Além disso, houve o apoio de um psicólogo, que auxiliou nas fases de: (1) associar estratégias de *design* do Facebook e princípios de afetibilidade e (2) relacionar as rupturas de afetibilidade com possíveis casos de opressão.

O escopo da avaliação contemplou os seguintes cenários de uso do Facebook: (1) criação de perfil, (2) personalização de perfil, (3) configurações de privacidade, (4) compartilhamento de conteúdo, (5) interação com conteúdo publicado e (6) interação entre usuários. Esses cenários foram escolhidos por consistirem no fluxo básico do sistema, englobando as principais funcionalidades oferecidas pelo Facebook.

5.1. Proposta de Afetibilidade do Facebook

A partir da inspeção, em termos de afetibilidade, foi possível verificar que no Facebook cada usuário possui um perfil com suas informações pessoais e cria uma rede de conexões, com a qual pode entrar em contato por meio da comunicação direta via *chat* e compartilhamento de conteúdo (e.g., textos, imagens ou vídeos).

O perfil é criado de modo a explicitar o nome, a data de nascimento e o gênero, que no momento do cadastro está limitado a feminino ou masculino. A partir desse gênero, o sistema insere uma imagem com uma silhueta masculina ou feminina para representar o usuário até que seja inserida uma nova imagem. Posteriormente, o perfil pode ser editado para alteração e/ou inclusão de diversas outras informações (e.g., educação, trabalho e gênero personalizado). Além disso, com exceção do nome, a foto e o gênero, o proprietário da conta pode controlar quem tem acesso (i.e., todos, somente amigos ou ninguém) aos dados do seu perfil.

Após o estabelecimento de uma conexão, que só acontece quando os dois usuários estão de acordo, a interação e a reciprocidade no Facebook são incentivadas a partir do compartilhamento de conteúdo (e.g., textos, imagens, vídeos ou a publicação de outro usuário ou página). O proprietário da publicação pode personalizar a visibilidade do conteúdo e caso não haja restrições, aqueles que têm permissão podem interagir com a postagem por meio de comentários, novos compartilhamentos e/ou reações que podem ser manifestadas pelas expressões: “Curtir”, “Amei”, “Haha”, “Uau”, “Triste” ou “Grr”. Além disso, o Facebook disponibiliza outros recursos para interação como grupos, eventos e comunicação instantânea.

Visando a segurança o projetista oferece aos usuários a possibilidade de ocultar uma publicação própria ou de terceiros, bem como uma opção para denunciar publicações e perfis, quando esses conteúdos não correspondem ao propósito da rede (e.g., incitações a discurso de ódio ou violência). Além disso, o sistema permite que um usuário bloqueie qualquer pessoa que desejar.

5.2. Estratégias de Afetibilidade adotadas pelo Facebook

Uma vez identificada a proposta de afetibilidade do Facebook, este trabalho buscou verificar se as decisões comunicadas na interface dessa rede social são compatíveis com os princípios que, de acordo com Hayashi e outros (2015), podem contribuir para potencializar o afeto do usuário durante a interação mediada pelo Facebook. A Tabela 4 relaciona as decisões adotadas pelo projetista, identificadas por meio do MIS, com os princípios de afetibilidade disponíveis na literatura (listados na Tabela 1).

Tabela 4. Estratégias de Afetibilidade do Facebook identificadas a partir do MIS

Cod. e Decisões do Projetista do Facebook		Exemplo (evidência) de aplicação no Facebook (i.e., signos que evidenciam)	Cód. Princípio de Afetibilidade relacionado
D001	Criar um perfil.	É possível criar uma nova conta no Facebook e construir um novo perfil e rede de contatos.	PAf3
D002	Excluir o perfil.	É possível apagar o perfil no sistema quando não se deseja mais fazer parte da rede.	PAf3
D003	Personalizar o perfil.	O sistema permite que o usuário construa seu perfil incluindo as informações que deseja. Além disso, é possível customizar a visibilidade de cada informação adicionada.	PAf3
D004	Escolher um gênero personalizado.	O sistema permite que o usuário insira um gênero personalizado, além de feminino e masculino, levando em conta que existem outros gêneros além destes.	PAf2
D005	Visualizar informações relevantes de usuários.	O sistema permite a um usuário saber diversas informações sobre cada usuário, desde nome e idade até estado civil e cidade onde mora.	PAf5

D006	Adicionar amigos através de sugestão do Facebook.	O Facebook sugere amigos que o usuário possa conhecer para que iniciem uma conexão.	PAf2
D007	Aceitar ou recusar convite para iniciar uma conexão.	O sistema só considera a conexão iniciada quando um usuário aceita o convite de amizade do outro. Do contrário, é considerado que nunca se adicionaram.	PAf3, PAf4
D008	Publicar conteúdo livremente dentro do propósito da rede.	O usuário pode publicar o conteúdo que desejar no Facebook dentre texto, imagens, vídeos ou links, desde que estejam de acordo com as regras do site.	PAf1
D009	Controlar a visibilidade das publicações.	O sistema permite que o usuário escolha quais conexões podem visualizar suas publicações, entre as opções: (1) público, (2) somente amigos, (3) privado e (4) personalizado, podendo escolher contatos específicos.	PAf3
D010	Personalizar o conteúdo que deseja visualizar.	Deixar que o usuário escolha de quais contatos prefere visualizar publicações.	PAf 3
D011	Ocultar publicações.	O sistema permite que o usuário oculte publicações que não deseja ver.	PAf3
D012	Livre expressão sobre algum conteúdo publicado.	O usuário pode responder qualquer publicação demonstrando seu sentimento em relação a ela, através do botão de curtir ou comentário.	PAf1
D013	Diferentes reações para responder a uma publicação.	O sistema permite que o usuário responda a uma publicação escolhendo uma entre as reações “Curtir”, “Amei”, “Haha”, “Uau”, “Triste” ou “Grr”, cada uma acompanhada por um elemento gráfico diferente.	PAf3, PAf6
D014	Utilizar diferentes recursos para contato com usuários.	O Facebook oferece uma série de recursos para que os usuários entrem em contato entre si, como chats privados, criação de eventos e de grupos.	PAf3
D015	Denunciar perfis ou publicações incompatíveis com o propósito da rede	O sistema permite que o usuário denuncie outros usuários e publicações que sejam potencialmente opressores ou perigosos, possibilitando que a administração do site tome as providências.	PAf4
D016	Bloquear usuários indesejados.	O Facebook permite que um usuário bloqueie outro. Quando isso ocorre, nenhum desses verá mais publicações ou o perfil do outro pela rede.	PAf3

A Figura 1 evidencia alguns exemplos das decisões do projetista do Facebook para potencializar a afetividade do sistema, referenciadas pelo código da coluna “Cod. e Decisões do Projetista do Facebook”, na Tabela 4.



Figura 1. Signos na interface do Facebook que evidenciam as decisões do projetista

5.3. Rupturas nas Estratégias de Afetibilidade e Potencial Impacto na Opressão

A partir da inspeção com o MIS foi possível identificar seis rupturas na interface do Facebook que violaram princípios de afetibilidade. Essas violações foram analisadas na perspectiva de especialistas em IHC e de um profissional de psicologia de modo que fosse possível evidenciar como as rupturas de afetibilidade poderiam refletir em situações opressoras para o público LGBT.

Os resultados dessa análise são exibidos na Tabela 5. Nessa tabela, são apresentados: o código e o nome da ruptura, os princípios de afetibilidade que ela viola (por meio de seus respectivos códigos) e a possível situação opressora que essa violação pode gerar durante a interação de um usuário LGBT. Além disso, a última coluna indica o código de ocorrências de opressão de gênero similares (listadas na Tabela 2), relatadas anteriormente por usuários LGBTs, que ajudam a reforçar o argumento que as violações dos princípios de afetibilidade na interface do Facebook podem refletir em situações opressoras para esse tipo de usuário. A Figura 2 exemplifica essas rupturas.

Tabela 5. Rupturas de Afetibilidade do Facebook e reflexos na Opressão

Cod. e Nome da Ruptura		Cód. dos Princ. de Afetibilidade violados	Reflexo na opressão de gênero contra pessoas LGBT	Cód. de situações opressoras similares já relatadas por usuários LGBTs
R001	Gênero restrito a masculino e feminino na criação de perfil.	PAf1, PAf2, PAf3 e PAf5	Durante a criação do perfil, o usuário é obrigado a escolher seu gênero entre masculino e feminino. Isso pode gerar opressão de gênero porque, segundo os dados apresentados por Pereira e Baranauskas (2015), o usuário pode não se identificar com nenhuma das opções dadas.	OcOp 1
R002	Silhueta de imagem vinculada a gênero pré-escolhido.	PAf1, PAf2 e PAf6	Após a escolha do gênero pelo usuário durante a criação da conta, o sistema coloca em seu perfil uma imagem genérica contendo uma silhueta de cabelo longo para o gênero feminino e de cabelo curto para o gênero masculino. Segundo os dados apresentados por Pereira e Baranauskas (2015), isso pode ser opressor porque o usuário pode não se identificar com a imagem designada.	OcOp 2
R003	Pronomes de tratamento limitados.	PAf1, PAf2, PAf3 e PAf5.	O Facebook permite que o usuário personalize as informações do perfil, inclusive o gênero. Ao editar o gênero o sistema oferece ao usuário a opção de indicar o pronome de tratamento que será utilizado para referenciá-lo na rede. As opções são: masculino (ele), feminino (ela) e neutro (e). Apesar de ser uma opção diferente, ao escolher “neutro”, o Facebook utiliza o pronome “ele” para referenciar o usuário. Isso é potencialmente opressor, de acordo com os dados levantados por Pereira e Baranauskas (2015), já que o usuário que seleciona a opção “neutro” não deseja ser referenciado pelo pronome masculino.	OcOp 3
R004	Publicações ofensivas são fáceis de ser compartilhadas.	PAf1, PAf4 e PAf5.	O conteúdo de uma publicação só é avaliado pelo Facebook após a denúncia de usuários. Segundo os dados apresentados por Pereira e Baranauskas (2015) esse tipo de moderação em relação ao conteúdo	OcOp 4, OcOp 5

			compartilhado (i.e., baseado apenas em denúncias) pode favorecer o compartilhamento de publicações ofensivas e opressoras, que, mesmo denunciadas, até serem investigadas, podem disseminar rapidamente na rede.	
R005	Configurações iniciais de privacidade permitem interações indesejadas.	PAf1, PAf4 e PAf5.	Logo após a criação da conta, as configurações de privacidade definidas pelo Facebook para o usuário permitem que qualquer pessoa cadastrada na rede entre em contato com o dono do perfil (e.g., mensagem via chat). Dessa maneira, podem ocorrer interações indesejadas, como o recebimento de mensagens de cunho ofensivo, o que é considerado um caso de opressão, como apresentado por Pereira e Baranauskas (2015)	OcOp 5, OcOp 6
R006	Falta de verificação para criar perfis.	PAf4, PAf 5	Quando um usuário deseja criar uma nova conta no Facebook, é possível utilizá-la mesmo sem confirmar e-mail. Segundo os dados apresentados por Pereira e Baranauskas (2015), isso pode facilitar a criação de contas falsas, por exemplo, para assediar outros usuários.	OcOp 6



Figura 2. Exemplos de Rupturas na Afetibilidade que refletem em Opressão

A partir dos dados apresentados é possível observar que a inspeção no Facebook, por meio do MIS, permitiu identificar não apenas as estratégias de afetibilidade adotadas no modelo de interface e interação desse sistema, mas também a existência de rupturas, observadas a partir da violação de princípios de afetibilidade, que podem refletir em potenciais casos de opressão contra o público LGBT, como apresentado na Tabela 5.

Dessa maneira, os resultados levantados sustentam o argumento de que a análise da interface de redes sociais *online*, sob a perspectiva dos princípios de afetibilidade, auxilia na avaliação da opressão de gênero em interfaces. Uma vez que as violações desses princípios podem refletir em baixa afetibilidade e isso pode ter como consequência a ocorrência de opressão sobre o usuário [Pereira e Baranauskas, 2015][Hayashi et al. 2015].

6. Opressão de Gênero no Facebook percebida por Usuários LGBTs

Com o objetivo de investigar como os usuários LGBTs percebem a opressão na interface do Facebook, a última etapa dessa pesquisa consistiu na aplicação de um questionário *online* que permitiu caracterizar: (1) o perfil do usuário LGBT e as (2) ocorrências de opressão gênero já percebidas e/ou vivenciadas por eles.

O questionário foi aplicado no período de 13 à 19 de setembro de 2016 e sua divulgação foi realizada por meio de redes sociais e *e-mails*. Foram priorizados grupos de usuários voltados para pessoas LGBTs. Participaram dessa pesquisa 157 usuários LGBTs, com idade entre 18 e 35 anos, que utilizam o Facebook pelo menos 5 vezes por semana.

Inicialmente, os usuários foram questionados se já sofreram ou presenciaram algum caso de opressão no Facebook. A maioria (98%), respondeu que sim. De forma complementar, os participantes foram questionados em relação à quais casos de opressão sofreram ou presenciaram nessa rede social *online*. Os casos relatados referem-se às possíveis ocorrências de opressão identificadas a partir das rupturas de afetibilidade no modelo de interface e interação do sistema (listadas na Tabela 5).

Para cada ocorrência, o usuário deveria indicar, em uma escala de 1 a 4, o quanto ela contribuía para o sentimento de opressão durante o uso do Facebook. Essa questão não era obrigatória e, além disso, o participante poderia indicar outros casos de opressão vivenciados ou ainda marcar a opção “Nenhuma ocorrência”, indicando que não observou situações opressoras no Facebook. O gráfico da Figura 3 sumariza os resultados obtidos.

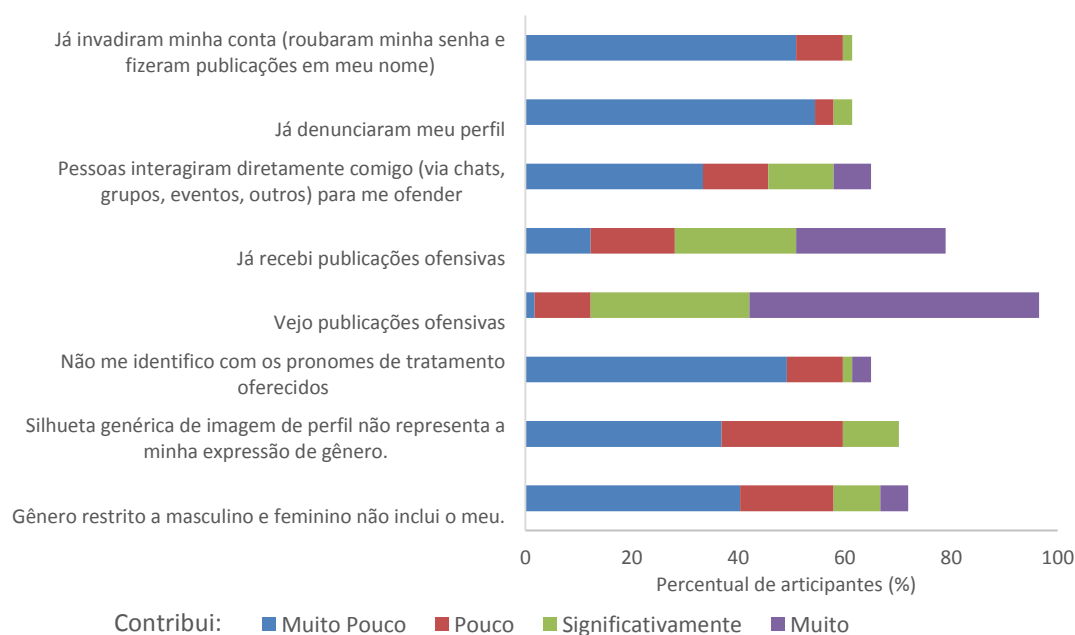


Figura 3. Fatores que contribuem ou contribuíram para a opressão

Por meio da Figura 3 é possível observar que a maioria (90%) declara que publicações ofensivas, sejam elas direcionadas ao próprio usuário ou não, contribuem significativamente ou contribuem muito para o sentimento de opressão. Além disso, pelo menos 61%, indicaram ter vivenciado ou presenciado as outras situações opressoras listadas, afirmando que elas contribuem para o sentimento de opressão no Facebook, mesmo que muito pouco.

Sendo assim, é possível constatar que, de fato as violações (i.e., rupturas) dos princípios de afetibilidade refletiram em ocorrências de opressão de gênero que já foram vivenciadas pelos usuários LGBTs participantes dessa pesquisa. Evidencia-se então a importância de endereçar aspectos de afetibilidade na interface das redes sociais, e, além

disso, comunicar de forma clara a existência dessas estratégias de modo que os usuários possam de fato percebê-las, evitando assim que ocorram rupturas de comunicação que levam a opressão de gênero.

7. Discussão dos Resultados

A aplicação do MIS permitiu identificar que o projetista do Facebook endereça aspectos de afetibilidade na interface do sistema. Porém, apesar desse endereçamento no modelo de interface e interação dessa rede social, existem rupturas de comunicação relacionadas à afetibilidade que podem refletir em casos de opressão para o público LGBT. Dessa maneira, é possível argumentar que a análise da interface desse tipo de sistema, sob a perspectiva de afetibilidade, pode auxiliar na avaliação de aspectos relacionados à opressão de gênero.

A pesquisa realizada com os usuários LGBTs reforça esse argumento, uma vez que foi demonstrado que os possíveis casos de opressão, vinculados às violações dos princípios de afetibilidade, já foram vivenciados ou observados por esses usuários durante a utilização do Facebook.

Sendo assim, esse trabalho sustenta o argumento de que a partir da violação dos princípios de afetibilidade é possível caracterizar situações opressoras que podem ser vivenciadas por usuários LGBTs. Isso é relevante porque, conforme argumentado por Pereira e Baranauskas (2015), no projeto e avaliação de sistemas colaborativos, é importante fazer uso de recursos que permitam refletir sobre possíveis ocorrências de opressão de gênero, de modo que quando identificadas, elas possam ser contornadas visando uma melhor experiência dos usuários independente do seu gênero e/ou orientação sexual [Pereira e Baranauskas, 2015].

8. Conclusões e Trabalhos Futuros

Neste trabalho, foi apresentada uma discussão da aplicabilidade dos princípios de afetibilidade para caracterizar opressão de gênero contra usuários LGBTs no modelo de interface e interação de redes sociais *online*. Para isso, foi realizado um estudo de caso no Facebook e os resultados demonstraram que, apesar do projetista do Facebook adotar as estratégias de afetibilidade, ainda existem rupturas no modelo de interface e interação que podem refletir em casos de opressão contra usuários LGBT. Logo, uma avaliação guiada pelos princípios de afetibilidade pode auxiliar na caracterização de situações potencialmente opressoras para esse grupo de usuários.

Dessa forma, no âmbito de contribuições, este estudo reforça a importância do endereçamento dos princípios de afetibilidade em redes sociais *online*, contribuindo com a consolidação desses princípios como estratégias para aprimorar a experiência satisfatória do usuário. De maneira complementar, reforça o argumento de que os princípios de afetibilidade, se violados, podem refletir em opressão de gênero. Portanto, a análise de sistemas sob a perspectiva desses princípios pode auxiliar na identificação de potenciais casos de opressão de gênero.

Em termos teóricos, os resultados da aplicação do MIS contribuem para a consolidação desse método na identificação de estratégias de qualidades de uso em sistemas colaborativos. Finalmente, a metodologia adotada para a condução desse trabalho pode ser explorada por outros pesquisadores para avaliar tanto afetibilidade quanto opressão em redes sociais.

Como trabalhos futuros, um ponto a ser investigado é a possibilidade de criação de uma metodologia que permita identificar signos na interface que possam indicar possíveis casos de opressão, de modo que seja possível contorná-los ainda em tempo de projeto. Isso auxiliaria no projeto e avaliação de sistemas que buscam a motivação de usuários e sua utilização contínua. Além disso, seria interessante explorar como estratégias e rupturas de afetibilidade podem refletir em opressão contra outros grupos de usuário (e.g., mulheres e pessoas com deficiência).

9. Referências

- Barbosa, G. A. R.; Gantos, G. E. e Pereira, V. Caracterização qualitativa da sociabilidade no Facebook. In: Proc. of IHC. 2013. p. 72–81.
- Boehner, K.; Paula, R.; Dourish, P. e Sengers, P. How Emotion is Made and Measured. *International Journal of Human-Computer Studies*, Academic Press, Inc., Duluth, MN, USA, v. 25, n. 4, p. 275–291, 2007.
- Butler, J. *Gender Trouble: Feminism and the Subversion of Identity*. Routledge, 1999.
- de Souza, C. S., Leitão, C. F., Prates, R. O., and da Silva, E. J. 2006. The semiotic inspection method. In: Proc. of IHC'06, p. 148-157.
- Duggan, M., Ellison, N. B., Lampe, C., Lenhart, A. and Mary Madden, M. 2015. Social Media Update 2014. In Pew Internet and American Life Project. Available in: < <https://goo.gl/L0PiH3>>, Acesso: Mar – 18, 2017.
- Duggan, M., and Page, D. 2015. Mobile Messaging and Social Media 2015. In Pew Research Center. Available in: < <https://goo.gl/L0PiH3>>, Acesso: Mar – 18, 2017.
- Hayashi, E. C. S.; Posada, J. E. G.; Baranauskas e M. C. C. Explorando princípios de Afetibilidade no redesign de aplicações para contextos educacionais. In: Proc. of SBIE. 2013. p. 788–797.
- Hayashi, E. C. S.; Posada, J. E. G.; Pereira, R. e Baranauskas, M. C. C. Exploring Principles for Affectibility in the Design of Mobile Applications. In: Proc. of IHC. 2015. p. 83–92. 25
- Kannabiran, G. e Petersen, M. G. Politics at the interface: A Foucauldian analysis. In: Proc. of NordiCHI 2010. p. 695–698.
- Killermann, S. Breaking through the binary: Gender explained using continuums. 2011. Disponível em: <<https://goo.gl/zqW4Yk>>. Acesso: Mar – 18, 2017.
- Pereira, G. C. e Baranauskas, M. C. C. Opressões de identidade de gênero e orientação sexual percebidas em interfaces de usuário de sistemas digitais: um estudo exploratório. In: Proc of. IHC. 2015. p. 93–102.
- Reis, S. de S. and Prates, R. O. 2011. Applicability of the Semiotic Inspection Method: a Systematic Literature Review. In: Proc. of X IHC & V CLIHC'11, p. 177-186.
- Tomagnini, L.; Barbosa, G. A. R.; Santos, G. E. e Silva, I. S. 2016. Caracterização das Estratégias de Qualidade de Uso que Potencializam a Utilização Contínua de Aplicativos Colaborativos de Navegação: Um estudo de caso no Waze In Proc. of SBSC 2016.

MASSVA: Modelo de Avaliação de Sistemas Sociais sob a ótica dos Valores humanos nas postagens dos usuários

Denilson C Oliveira¹, Elizabeth S. Furtado¹, Marília S. Mendes²

¹PPGIA. Universidade de Fortaleza (Unifor), Fortaleza, CE - Brasil.

²Universidade Federal do Ceará (UFC), Russas, CE - Brasil.

{denilsoncursino1, elizabethsfur, mariliamendes}@gmail.com

Abstract. Social Systems (SS) allow diverse interactive experiences to their users, whose posts, in natural language, are being exploited for various purposes. This paper proposes a model for the evaluation of an SS through the investigation of expressed human values of the users' posts. Twitter data were analyzed, according to the concepts of the model, with the purpose of verifying the utility of such values for the user interaction with these SS. The results pointed to the identification of quality problems in use of this SS, as well as to the possibility of improvements through the discovery of relationships between personal and social values, expressed in the analyzed posts.

Resumo. Sistemas Sociais (SS) possibilitam experiências interativas diversas aos seus usuários, cujas postagens em linguagem natural vêm sendo exploradas para diversos fins. Este artigo propõe um modelo para a avaliação de um SS a partir da investigação de valores humanos expressos das postagens dos usuários. Dados do Twitter foram analisados, segundo os conceitos do modelo, com o propósito de verificar a utilidade de tais valores para a interação do usuário com esses SS. Os resultados apontaram para a identificação de problemas de qualidade em uso desse SS, bem como para a possibilidade de melhorias a partir da descoberta de relacionamentos entre valores pessoais e sociais, expressos nas postagens analisadas.

1. Introdução

Diferentes usuários de SS interagem entre si, produzindo informações (postagens de usuários) úteis para aferir as medidas da qualidade em uso com o referido sistema, como: de usabilidade e da experiência do usuário (User eXperience, UX). O uso de postagens para avaliar a UX em SS permite identificar as conversas dos usuários, suas dúvidas, buscas por novos conhecimentos, entre outros objetivos que levam os usuários a interagirem nos SS (Mendes, 2015). Pereira *et al.* (2010) ressalta a importância em analisar os valores pessoais (p. ex., autonomia, privacidade, emoção e afeto, etc.) e sociais (p. ex., colaboração, compartilhamento, propriedade, etc.) existentes em um SS para avaliar os valores técnicos de tal sistema (aqui sendo considerados as medidas de

qualidade em uso). Nenhum desses autores, nem de outros trabalhos apresentados na seção de trabalhos relacionados, focam na análise da expressão de valores nas postagens em linguagem natural e realizam o mapeamento da interação (como das medidas de qualidade em uso) com os valores pessoais e entre estes com os valores sociais. Quando nos referirmos à análise da expressão de Valores nas postagens feitas durante uma UX com o SS sendo avaliado, a abreviação VUX será usada. Em Oliveira *et al.* (2016), os autores deste artigo em submissão mostraram que as postagens dos usuários podem expressar valores pessoais e sociais, e ser uma fonte de conhecimento para auxiliar na avaliação da qualidade em uso de SS. Apesar disto, eles não mostraram: quais valores pessoais e sociais são mais recorrentes e como estes podem ser úteis para avaliar a VUX dos SS? O objetivo deste artigo é investigar as postagens dos usuários de um SS, do ponto de vista da VUX, com os propósitos de explorar os relacionamentos entre valores e analisar suas implicações para a qualidade em uso desse sistema. Esta pesquisa avançou para a definição de um modelo de dados de avaliação de um SS, representando os conceitos (e suas relações) usados para uma análise VUX. Esse modelo, chamado MASSVA (Modelo de Avaliação de SS sob a ótica de Valores), foi usado para guiar a análise e classificação de valores feitas com três extrações de postagens do Twitter, totalizando 5.326 postagens analisadas. Os resultados apontaram para a identificação de problemas de qualidade em uso do SS e possibilidades de melhorias do seu conteúdo e interface.

Este artigo está organizado da seguinte forma: a seção 2 apresenta fundamentações teóricas antes da apresentação do MASSVA; o modelo de dados MASSVA é apresentado na seção 3; na seção 4 ocorre a aplicação do modelo em um contexto específico de avaliação; os resultados são apresentados na seção 5; em 6, são apresentados os artigos do estado da arte relacionados à avaliação de SS usando valores; uma discussão sobre a aplicação do modelo proposto para analisar a VUX é feita na seção 7 e, por fim, tem-se a conclusão.

2 Fundamentação Teórica

2.1 Sistemas Sociais e suas postagens

Uma das primeiras definições sobre o termo Sistema Social foi descrita por Shirky (2005), onde SS são descritos como softwares que permitem interações em grupo. McLoughlin e Lee (2007) foram além, afirmando que os SS não possuem somente a possibilidade de interação entre seus usuários, mas têm a capacidade de recombina e transformar todas as informações compartilhadas e seus próprios meios de transmissão em novas ferramentas. Como mencionado, eles vêm sendo explorados para diversos fins: i) educativos; Klamma *et al.* (2011) direcionam os SS para o contexto das tecnologias educativas e os definem como ferramentas que disponibilizam atividades educativas em redes sociais; ii) segurança; Bolea (2015) fez uma análise da carga de sentimentos e do vocabulário utilizado em postagens identificando um sentimento de perigo sobre os fatos que ocorreram ou iriam ocorrer para analisar a segurança. Em Beiming (2014) foi realizada uma análise da influência dos sentimentos nas postagens como um fator preponderante de atenção dos outros usuários em interagir com uma referida postagem. Um estudo sobre a possibilidade da existência de links maliciosos e spans nas postagens do Facebook, é realizado por Abu-Nimeh *et al.* (2011); e iii) avaliação da interação: Pereira *et al.* (2010) aprofundaram os conceitos sobre os SS,

analisando seus valores sob os preceitos apresentados por Morville (2004): a colmeia de UX, que contém como medidas da UX, a usabilidade, privacidade, acessibilidade, etc. Já Smith (2008) utilizou estas medidas, dentre outros elementos para apresentar um Framework conceitual para avaliar SS, sendo eles: presença, compartilhamento, conversação, identidade, grupo, reputação e relacionamento.

Este trabalho se situa neste último propósito, e estende a proposta apresentada por Mendes (2015). A autora propôs um modelo, chamado MALTU, para avaliar a interação em SS a partir de Postagens Relacionadas ao Uso (PRUs). Uma PRU é uma postagem na qual seu conteúdo diz respeito a algo relacionado ao uso do sistema (p. ex., “*Meu twitter tá com problema.*”). Entretanto, a autora descarta o uso de Não-PRU, ou seja, uma Postagem Não Relacionada ao uso do sistema, com conteúdo relacionado a qualquer assunto (p. ex., “*Adorei o episódio de Breaking Bad de ontem*”). Neste trabalho, para a análise VUX, os dois tipos de postagens serão usados.

2.2 Valores Humanos (pessoais e sociais) e sua associação a PRU e Não-PRU

Pereira *et al.* (2010) fazem a divisão dos valores em pessoais e sociais, os quais são utilizados nesta pesquisa. Um valor social refere-se aos impactos econômicos, sociais e ambientais gerados por uma atividade. Enquanto o pessoal é o conjunto de características de uma determinada pessoa ou organização, que determinam a forma como a pessoa ou organização se comportam e interagem com outros indivíduos e com o meio ambiente. Nos parágrafos que se seguem, o conceito de cada valor será brevemente descrito.

Os valores pessoais, apresentados em Pereira *et al.* (2010), são os seguintes:

- **Autonomia:** a origem etimológica desta palavra vem do termo grego “autos nomos” que implica em: autodeterminação, próprias regras. Holanda (2010) apresenta três significados básicos: faculdade que conserva um país conquistado de se administrar por suas próprias leis, liberdade moral ou intelectual e independência administrativa;
- **Confiança:** sentimento de quem confia, de quem acredita na sinceridade de algo ou de alguém (Holanda, 2010). Mayer (1995) afirma que a confiança se faz necessária onde há riscos, incertezas e interdependência;
- **Consentimento Informado (CI):** este valor teve sua importância ressaltada inicialmente por Belmont Report (1978), que discute sobre a construção de princípios éticos e diretrizes a serem abordados no desenvolvimento do consentimento informado durante as interações humanas no mundo digital;
- **Emoção e Afeto:** o interesse filosófico pelas emoções de meados do século XX pode ser atribuído a Bedford (1957) e Kenny (1963) por terem argumentado sobre a suposição de que as emoções são sentimentos impermeáveis a qualquer um;
- **Identidade:** segundo Hogg *et al.* (1988), identidade é o conceito das pessoas de quem elas são, de que tipo de pessoas elas são e como elas se relacionam com os outros;
- **Presença:** Garau (2003) apresenta três conceitos de presença: presença, presença social e co-presença, e define que presença é a sensação de “estar lá/

imersão” (p. ex., entretenimento, cinema, etc.), presença social como “estar junto” (p. ex., vídeo-chamada, videoconferência, etc.) e co-presença como “estar junto em um ambiente compartilhado” (p. ex., e-mail, telefone, chat, etc.);

- **Privacidade:** diz respeito à intimidade de pessoal ou de grupo definido de pessoas (Holanda, 2010). Ou como o valor que nos concede a capacidade de controlar o acesso que os outros têm a nós (Schoeman, 1992).
- **Reciprocidade:** para Sabourin (2008), é a obrigação de dar, receber e retribuir.
- **Reputação:** diz respeito à opinião pública, sendo esta favorável ou não a respeito à pessoa física ou jurídica (Holanda, 2010);
- **Visibilidade:** diz respeito ao fato do indivíduo ser encontrado, visto em um determinado local.

Adicionamos outros valores pessoais ao conjunto de valores que ajudarão a analisar a VUX de um SS, são eles:

- **Conhecimento:** Japiassu (1977) afirma “É considerado saber, um conjunto de conhecimentos metodicamente adquiridos, mais ou menos sistematicamente organizados, susceptíveis de serem transmitidos por um processo pedagógico de ensino”;
- **Responsabilidade Social:** pode ser considerada uma ciência onde a busca de conhecimento para o bem-estar da sociedade deve ser aplicada por profissionais de diversas áreas (Arevalo, 2010);
- **Religiosidade:** é o sentimento humano que impele a reconhecer a divindade independentemente de culto determinado (Holanda, 2010);
- **Prestígio:** Huang (2009) divide o valor de prestígio em virtual, social e estrutural: o primeiro é medido pela quantidade de visitas recebidas no perfil de um determinado usuário; o segundo é percebido não pelo número de visitas e sim pelo forte sentimento de aliança e respeito por parte dos visitantes do perfil do usuário e o último é percebido a partir da análise de diversas variáveis para poder determiná-lo.

Os valores humanos, apontados como sociais em Pereira (2010) são utilizados nesta pesquisa. São eles:

- **Normas, Regras e Políticas (NRP):** segundo Dron (2007), normas, regras e políticas fornecem o princípio da confiança, sendo necessárias para que se possa construir mecanismos confiáveis de interação entre as pessoas e recursos sob a regência do valor NRP;
- **Colaboração:** diz respeito a agir com outrem para a obtenção de determinado resultado (Holanda, 2010). Tsai (2008) trabalha o conceito de colaboração sobre vários aspectos: a colaboração servindo como alicerce para a criação de comunidades online de aprendizado; e que a natureza social da educação depende da interação entre indivíduos que, por sua vez, depende da colaboração construída entre os membros da comunidade de aprendizado, seja ela online ou não;
- **Compartilhamento:** segundo Holanda (2010), é a ação ou efeito de

compartilhar algo com alguém. Badcock (2004) aponta problemas que fazem com que as pessoas evitem o compartilhamento. Segundo o autor, as pessoas não querem compartilhar o que sabem porque acreditam que conhecimento é um diferencial frente aos outros; o segundo correlaciona-se com o primeiro que é o fato de não haver confiança entre os indivíduos;

- **Conversação:** é a possibilidade de dois indivíduos, ou um grupo de indivíduos, estabelecerem comunicação direta (síncrona e/ou assíncrona) (Pereira, 2010b). Dourish e Bly (1992) analisaram a CMC (Comunicação síncrona e assíncrona Mediada por Computador) e avaliaram que a CMC consegue desenvolver uma consciência social colaborativa em relações, seja ela de trabalho ou informais;
- **Grupo:** segundo Holanda (2010), um grupo se refere ao número de pessoas ou de coisas que formam um todo;
- **Objeto:** artefato em torno do qual as interações sociais ocorrem (p. ex., ponto focal a partir do qual as discussões surgem, a conversa é mantida, a colaboração acontece) (Pereira *et al.*, 2010);
- **Relacionamento:** algum tipo de ligação, laço social, entre dois ou mais indivíduos (Pereira *et al.*, 2010);
- **Propriedade:** segundo Holanda (2010), é o direito pelo qual alguma coisa pertence a alguém.

3. O Modelo de dados Proposto

A Figura 1 ilustra o modelo MASSVA seguindo a notação do diagrama de classe da UML. Seus elementos para o contexto de aplicação relacionado à análise da VUX de um SS são os seguintes:

- **SS:** refere-se ao sistema, sendo o objeto de avaliação. É ele que fornece os dados, ou seja, as postagens;
 - **Postagem:** trata-se da mensagem textual descrita pelo usuário durante o uso do SS em avaliação. A postagem pode ser dos tipos PRU e N-PRU, definidos por Mendes (2015).
- **Valor Humano:** uma postagem PRU ou N-PRU expressa um ou mais valores humanos, afirmação descoberta quando a análise VUX foi feita em 2.000 postagens do Twitter, Oliveira *et al.* (2016). No modelo, um valor humano pode ser de dois tipos: valor Pessoal, o qual pode se relacionar com um ou mais valores pessoais e sociais; e valor social, o qual pode se relacionar com um ou mais valores pessoais e sociais.
- **Relacionamento entre Postagem e Valor:** a existência de valores humanos pessoais e sociais em PRU e em N-PRU deu origem à definição de dois elementos:
 - **VRU (Valor Relacionado ao Uso do Sistema),** que é uma PRU que expressa valor. Por exemplo: a postagem PRU “*Daqui a pouco tão mudando o nome do Twitter pra Orkut pq néh ... :/*” expressa o valor pessoal de emoção e afeto e os dois valores sociais de objeto e NRP;
 - **N-VRU (Valor Não Relacionado ao Uso do Sistema),** que é uma Não-

PRU que também expressa valor. Por exemplo: a postagem Não-PRU “@USER muito obrigado pra following! yeah brazil !!” expressa o valor pessoal de emoção e afeto e os sociais de objeto e conversação.

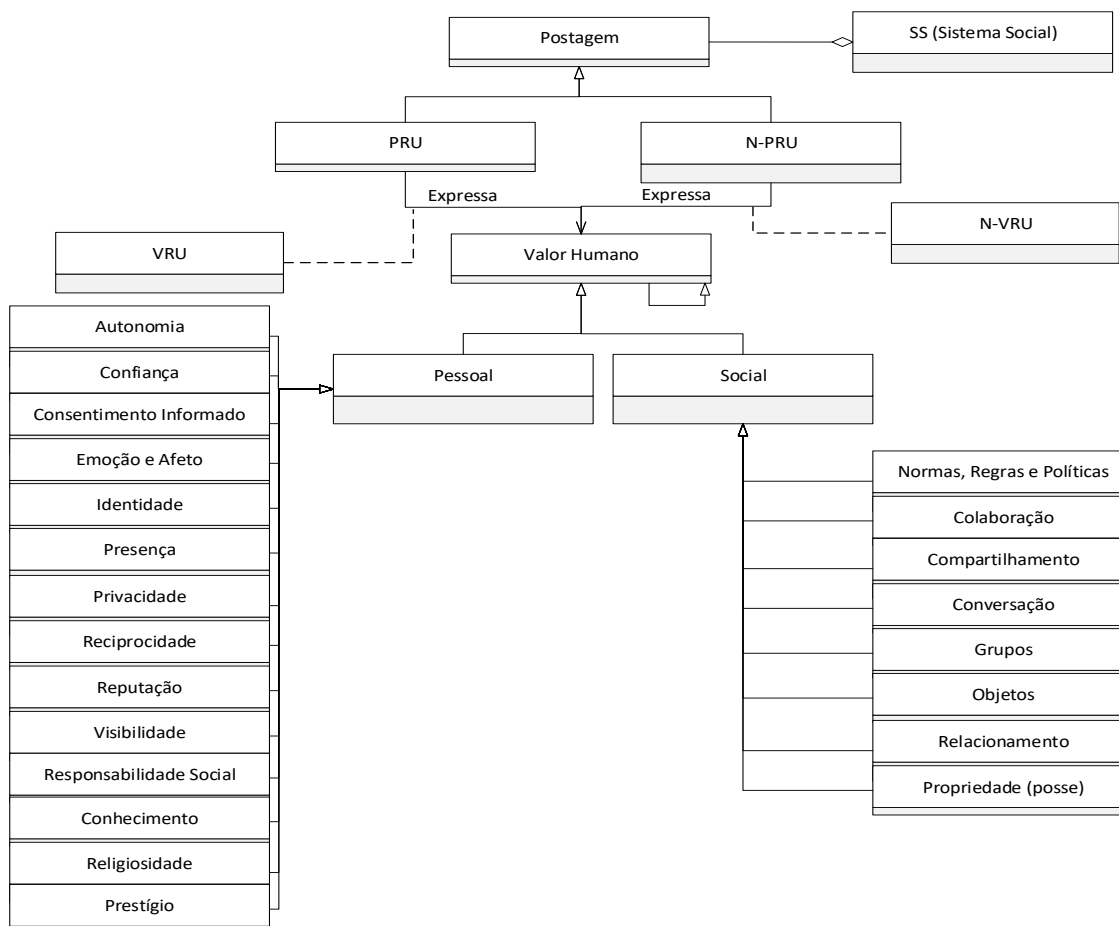


Figura 1. Modelo de dados MASSVA

4. Aplicação do modelo de dados MASSVA

Esta seção apresenta o uso do MASSVA num processo de classificação de postagens para um certo contexto resultando em uma formalização dos conceitos.

4.1 Contexto de aplicação

O Twitter foi o SS escolhido para a análise da VUX com três conjuntos de postagem, sendo eles: a primeira extração de postagens foi obtida a partir do banco de dados usando em (Mendes, 2015), consistindo de 1.000 postagens VRUs e outras 1.000 N-VRUs. Os resultados da análise da VUX de todas as postagens VRUs e N-VRUs foram apresentados em Oliveira *et al.* (2016); a segunda extração de postagens foi de 2.800 postagens, extraídas a partir do uso da ferramenta UUX-POSTs¹, durante o mês de setembro/2016. Destas, 2.250 eram N-PRUs, dentre as quais, 550 eram postagens

¹ UUX-Posts: é uma ferramenta de extração e classificação de postagens relacionadas a Usabilidade e Experiência do Usuário (UX). Mendes (2015). Disponível em: <http://200.129.62.41/luqs/analizador/v3/>

VRUs. As 550 postagens VRUs foram analisadas, quando dois valores pessoais eram identificados em uma mesma postagem, a postagem era repetida para facilitar o mapeamento dos problemas em qualidade em uso com os valores, resultando em 690 postagens a serem analisadas. Os resultados serão apresentados no tópico 5 deste artigo; e a terceira extração de 526 postagens, coletadas com a ferramenta UUX-POSTs em outubro/2016. Essa terceira extração foi utilizada para validação da classificação, descrita no tópico a seguir.

4.2 Estratégia para classificação de valores nas postagens

A classificação, entre valores pessoais e sociais, das 550 postagens PRUs da segunda extração foi realizada pelo pesquisador, autor principal deste artigo, sendo feita uma análise qualitativa e interpretativa considerando o conceito de cada valor (tópico 2.2). A terceira extração de postagens (526 postagens) foi fornecida a um especialista em análise da interação de SS para realizar uma classificação utilizando os mesmos conceitos. Houve um treinamento prévio para o especialista, que consistiu de: contextualização da importância da validação e passagem de conhecimento dos conceitos de cada valor. Enquanto isto, o pesquisador analisou os termos das postagens da segunda extração, já classificadas em cada valor, e elaborou uma formalização para definir, de forma gramatical, cada valor. A formalização de um valor é caracterizada por um conteúdo gramatical (P. ex., uma frase, palavra(s), ação(ões)), atuando como marcador utilizado para classificar cada postagem em um determinado valor.

Devido a problemas de espaço neste texto, destaca-se um exemplo de uma formalização, representada por “F”, utilizando a teoria dos conjuntos. Para uma postagem VRU, representada por “p”, expressando o valor pessoal autonomia, tem-se: $F_{aut} = \{\forall p / E_1 * E_3 \text{ ou } E_2 * E_3\}$, considerando “E” é um conteúdo gramatical pertencente a um conjunto, ou seja, onde $(E_1 \in A)$, $(E_2 \in B)$ e $(E_3 \in C)$, sendo $A = \{a / a \text{ é o desejo ou expectativa que aponta para a possibilidade ou impossibilidade de realizar algo em um SS}\}$ ou seja, $A = \{\text{querer, desejar, ser, esperar, aguardar, ...}\}$; $B = \{b / b \text{ é a opinião positiva ou negativa sobre alguma ação do SS}\}$, ou seja $B = \{\text{amei, odiei, perfeito, bonito, ...}\}$ e $C = \{c / c \text{ é uma ação}\}$, ou seja $C = \{\text{fazer, instalar, apagar, atualizar, colocar, mudar, modificar, editar, usar, ...}\}$ se $(A * C) \neq \emptyset$, $(B * C) \neq \emptyset$.

Quando os dois finalizaram suas atividades, o pesquisador validou a formalização, verificando se a classificação, realizada pelo especialista, usando os conceitos dos valores, estava condizente com as formalizações, e realizou os ajustes quando necessários. Está fora do escopo deste trabalho, explicar os resultados alcançados com a comparação da classificação com a formalização, detalhes podem ser encontrados em Oliveira *et al.* (2016).

Porém é importante ressaltar que tal formalização ajudou o pesquisador a responder à questão desta pesquisa: “Quais valores pessoais e sociais são mais recorrentes e como estes podem ser úteis para avaliar a VUX dos SS? ”. Ele passou de uma análise “ad-hoc” baseada na definição dos conceitos para uma análise sistemática dos elementos gramaticais. Ele utilizou 690 valores pessoais identificados nas 550 postagens coletadas na segunda amostra, e os resultados são apresentados na próxima seção.

5. Resultados

Esta seção apresenta os resultados das análises VUX das postagens VRUs e N-VRUs do Twitter, sendo eles: os valores e problemas de qualidade em uso mais recorrentes; as possibilidades de melhorias do sistema e os relacionamentos entre valores.

5.1 Valores pessoais e sociais X Problemas mais recorrentes

A Tabela 1 apresenta os valores mais expressados considerando o total de 690 VRUs. Dentre eles, a emoção e afeto tem 337 (48%); autonomia 164 (23%); confiança 95 (14%), conhecimento 75 (11%) e consentimento informado 19 (3%). Os seguintes valores sociais (colaboração, grupo, relacionamento) e pessoais (identidade, presença, privacidade, reciprocidade, reputação, visibilidade) não foram representados por não terem sido classificados em nenhuma das postagens.

A Tabela também representa os problemas de qualidade em uso, por meio das medidas de UX. É importante descrever a que se referem as colunas “evidencia problema (Qtd) e evidencia problema (%)”. A primeira refere-se à quantidade de postagens VRUs, que evidenciaram problemas para um certo valor pessoal. Uma mesma postagem VRU pode evidenciar mais de um problema (p. ex., “*Me dá uma raiva o Twitter ficar mostrando que tem notificação, aí vc entra e não tem nada*”). Tal exemplo foi classificado no valor pessoal autonomia e evidencia os problemas de usabilidade e de *awareness*. No caso da segunda, trata-se do percentual de postagens VRU, que evidenciaram problemas, para um certo valor pessoal. Por exemplo, o valor consentimento informado teve o percentual de 79% postagens que evidenciaram algum problema de qualidade em uso, percentual este calculado considerando 15 problemas em 19 postagens com esse valor. Apesar do percentual alto, a quantidade maior de problemas foi identificada no valor confiança (66).

Tabela 1. Valores pessoais que expressam problemas de qualidade em uso

	Total das postagens por valor pessoal	Valores Sociais					Problemas de qualidade em uso					Evidenciam Problema (Qtd)	Evidencia Problema (%)		
		NRP	Compartilhamento	Conversação	Objetos	Propriedade	Aparência	Awareness	Disponibilidade	Portabilidade	Segurança			Usabilidade	
Valores Pessoais	Autonomia	164	24	2	8	164	118	1	1	0	1	0	11	13	8%
	Confiança	95	5	4	6	95	87	1	2	7	3 3	2	57	66	69%
	Consentimento Informado (CI)	19	0	0	2	19	15	0	2	0	0	2	13	15	79%
	Emoção e Afeto	337	37	18	32	337	134	1	3	0	0	2	37	40	12%
	Conhecimento	75	5	6	25	75	22	2	0	0	0	0	3	5	7%

Para exemplificar os problemas de qualidade em uso relacionados aos valores pessoais preparou-se a seguinte lista (descrita fielmente pelos usuários):

- Autonomia x Awareness: “*Eu odeio meu Twitter ficar postando quem visualizou meu perfil. Que <palavrão>*”;
- Autonomia x Portabilidade: “*só iOS que não tem como o twitter ficar como modo noturno??? pq essa <palavrão> não muda nada com a atualização*”;
- Confiança x Aparência: “*atualizei meu twitter mais uma vez e até agora nao apareceu o modo noturno :))))*”;
- Confiança x Awareness: “*No meu Twitter ficar aparecendo toda hora que tem notificação, entro e não tem nada*”;
- Confiança x Disponibilidade: “*nosfa to de saco cheio do twitter ficar parando*”;
- Confiança x Portabilidade: “*Finalmente consegui fazer o Twitter entrar pelo celular de novo !!! Mas ainda tá bugado pra <palavrão> ;-;*”
- Confiança x Segurança: “*{User} só fiquei surpreso do twitter ter me mostrado a sua conta. hahaha*”;
- Consentimento Informado x Awareness: “*Obrigada twitter, mais não quero saber quantas pessoas visualizaram meu perfil ?*”;
- Consentimento Informado x Segurança: “*Nao sei como resolver isso do meu twitter ficar repostando sozinho*”;
- Consentimento Informado x Usabilidade: “*se o twitter mudar a cor do icon ou da header, cabeças vão rolar*”;
- Emoção e Afeto x Aparência: “*ate quando pro twitter deixar nossos icons com qualidade de novo*”;
- Emoção e Afeto x Awareness: “*Agora Twitter dar pra ver a <palavrão> de dm visualizada, que triste*”;
- Emoção e Afeto x Segurança: “*De alguma maneira fizeram meu perfil só Twitter seguir quase 400 sem a minha permissão. Tive que dar unfollow manualmente em todos eles.*”;
- Emoção e Afeto x Usabilidade: “*nossa meu twitter ficar travando toda hora q raiva*”;
- Conhecimento x Aparência: “*o que dizer sobre o twitter ter tirado o modo noturno? Decepcionante*”;
- Conhecimento x Usabilidade: “*N sei o pq do Twitter ficar apagando a foto com a frase q eu posto*”.

5.2 Melhorias do SS

Nesta sub-seção ilustram-se as possibilidades de melhorias. Os exemplos serão dados para as postagens N-VRUs, para ilustrar que a análise da VUX não se limita aos problemas de interação. Essas postagens são caracterizadas quando seu conteúdo não estiver relacionado ao uso do sistema, e sim a qualquer outro assunto (p. Ex., “*tem gente q ta aqui a 3 anos, e tem 20 mil tweets, eu to aqui a 1 ano e pouco e já tenho 124 mil*”). Por este motivo, elas não foram consideradas até agora. Ao analisar o elemento gramatical das postagens N-VRUs classificadas no valor prestígio e apresentadas na Tabela 2, foi percebido que, muito embora o usuário não falasse sobre o SS, tais frases poderiam apontar possíveis melhorias ao SS, como: “*Falta pouco pra 15 mil tweets (:*”;

“*Daqui a pouco eu chego nos 2000 tweets*”;

“*Bem perto dos 800 followers! :D*”.

Considerando tais exemplos, bem como outras postagens com conteúdo semelhante, como melhoria, seria interessante uma solução para a interface do SS Twitter, que pudesse informar a quantidade de *Tweets* (postagens) que o usuário já criou e uma outra solução para indicar quantos *Followers* (seguidores) cada usuário possui. As melhorias poderiam passar as informações necessárias variando os aspectos gráficos ou modalidades de interação, segundo o designer. Assim, cada usuário teria uma ideia da quantidade destas informações sem que precisasse perguntar a um outro usuário ou que este o informasse. A Tabela 2 apresenta mais exemplos, bem como a motivação e sugestões de melhorias a partir da análise das postagens N-VRUs.

Tabela 2. Sugestões de melhorias a partir da análise das postagens VRU

Postagens	Motivação	Sugestão de melhoria
<i>"Falta pouco pra 15 mil tweets (:"</i>	Possibilitar que usuários tenham uma noção de quantos tweets cada usuário tem sem que precise ser perguntado	Adicionar um elemento gráfico que indique aos usuários quantos tweets ele já postou. Este elemento poderia trabalhar com cores, onde cada cor representaria uma quantidade mínima e máxima.
<i>"Quase atingindo 1000 tweets ... mais eh muito pouco"</i>		
<i>"Falta pouco para os 4 mil tweets :P"</i>		
<i>"tem gente q ta aqui a 3 anos, e tem 20 mil tweets, eu to aqui a 1 ano e pouco e já tenho 124 mil"</i>	Possibilitar que usuários tenham uma noção de quantos followers (seguidores) cada usuário tem sem que precise ser perguntado	Adicionar um elemento gráfico que indique aos usuários quantos tweets ele já postou. Este elemento poderia trabalhar com cores, onde cada cor representaria uma quantidade mínima e máxima.
<i>"Bem perto dos 800 followers! :D"</i>		
<i>"quero 100 followers PELO MENOS até sexta"</i>		
<i>"fcs se importam muito com followers" desculpa, sou eu que tenho 5.000"</i>		

As análises realizadas nas postagens N-VRUs, as quais não possuem conteúdo relacionado ao uso do sistema, tiveram o intuito de verificar se estas podem colaborar para a melhoria de um SS. Falamos de melhoria porque não há uma reclamação por parte do usuário, tal como encontramos em postagens VRUs que, por sua vez, apontam uma solução para um possível problema apontado pelo usuário. O exemplo apontado na Tabela 2 aponta que é possível utilizar as postagens N-VRUs como fonte de informação para possíveis melhorias no SS.

5.3 Relacionamento entre os valores pessoais e sociais

Para investigar os relacionamentos entre valores pessoais e sociais, usou-se as três amostras mencionadas. Para simplificar a investigação e ilustrar o relacionamento, procurou-se identificar os valores pessoais que expressam um certo valor social. A Tabela 3 ilustra o percentual de postagens classificadas nos valores pessoais de autonomia e confiança que expressam também o valor social de propriedade. Considerando estas informações, analisou-se, de forma quantitativa, a seguinte suposição: obtendo-se a extração de, ao menos, duas postagens VRUs, classificadas nos

valores pessoais autonomia ou confiança, pode-se ter também a expressão do valor social propriedade.

Tabela 3. Postagens de autonomia e confiança que expressam propriedade

	Autonomia	Propriedade	%		Confiança	Propriedade	%
1 ^o Extração	77	56	73		258	247	96
2 ^o Extração	164	118	73		95	87	92
3 ^o Extração	50	47	94		20	18	90

O coeficiente de correlação de Pearson (r) foi utilizado para avaliar esta suposição. Com esse coeficiente, é possível obter o grau de relação linear entre duas variáveis quantitativas. Esse grau tem a seguinte variação ($-1 \leq r \leq 1$) onde $r=1$ significa que duas variáveis são perfeitamente correlacionadas positivamente, ou seja, tem-se uma proporção de quantidade entre duas variáveis de (1,1), enquanto ($0,8 \leq r \leq 1$) considera-se que há uma forte correlação entre duas variáveis quantitativas. Utilizando os valores da Tabela 3 e a fórmula de Pearson $r = \frac{\sum(x-\bar{x})(y-\bar{y})}{\sqrt{\sum(x-\bar{x})^2 \sum(y-\bar{y})^2}}$, o coeficiente foi de $r = 0,9937$ para o relacionamento de autonomia X propriedade e $r = 0,9999$ para o relacionamento do valores confiança X propriedade.

O resultado do coeficiente de correlação de Pearson ajuda a sustentar a hipótese sobre a expressão destes valores pessoais de autonomia e confiança com o social de propriedade.

6. Trabalhos Relacionados

Nesta seção, mostramos que parte dos estudos do estado da arte que avaliam sistemas fazem uso de no máximo três valores:

Friedman (2006) trabalha com os valores de consentimento informado, privacidade e autonomia. Ele afirma que o consentimento informado fornece uma proteção extra para a privacidade quando este valor é utilizado em sites que coletam dados de usuários.

Donath (1998) afirma que o valor de identidade desempenha um papel chave em comunidades virtuais. O objetivo do autor é compreender como a identidade é estabelecida em uma comunidade on-line e as condições que dão origem à ambiguidade.

Lee, Antoniadis e Salamatian (2010) estudam o comportamento de usuários de comunidades sociais e de compartilhamento de conteúdo em termos de reciprocidade. Os autores acreditam que um usuário se depara com algum conteúdo, que considera importante para ele, então ele estabelece um sentimento de reciprocidade com quem o disponibilizou.

Bedi e Gove (2012) propõem um modelo de preservação dos usuários em SS baseando-se nos princípios de Hipócrates. Esses princípios são apontados por Agrawal *et al.* (2002), sendo eles: motivação específica, consentimento, conjunto mínimo, uso limitado, divulgação limitada, retenção limitada, exatidão, acesso e conformidade.

Troussas *et al.* (2013) afirmam ser importante saber como as pessoas se sentem

sobre determinados temas os quais elas encontram nos SS. Ele propõe uma classificação destes sentimentos para o aprendizado de linguagem natural utilizando o algoritmo Naive Bayes. O autor enfatiza que a identificação destes sentimentos é um processo complexo pelo fato dos sentimentos dos participantes de uma determinada discussão serem representados de várias maneiras.

Para Srivastava *et al.* (2008) a privacidade das informações dos usuários dos SS deve ser garantida e ser um dos principais objetivos dos desenvolvedores.

Neste artigo propomos um modelo de dados que avalia os SS utilizando vários valores pessoais e sociais. O objetivo é enriquecer as informações e transformá-las em conhecimento pelo fato da avaliação não estar direcionada a um ou outro valor pessoal ou social e sim a todos os valores que estejam expressados nas postagens do SS.

7. Discussão

Discutem-se as decisões e limitações da aplicação do modelo MASSVA, em termos dos seguintes requisitos usados para a classificação dos valores e análise VUX:

I) Tipos de análise: a escolha do tipo de análise da VUX de um SS dependerá primordialmente dos objetivos que se deseja alcançar. Os tipos podem ser: análise preditiva que, para Prates (2003), é realizada quando os avaliadores, ao analisarem os dados coletados, tentam prever que tipo de problemas os usuários enfrentarão; e a análise interpretativa, que é realizada quando os avaliadores procuram explicar os fenômenos que ocorreram durante esta interação. Esta proposta se encontra suportando apenas a análise interpretativa e, como tal, de difícil realização (ver próximo item);

II) Classificação manual e/ou automática: sabe-se que um processo de classificação manual é interpretativo. Então, uma mesma classificação pode ser feita de forma diferente pelos envolvidos, pois tem diferentes conhecimentos e podem apresentar diferentes pontos de vista. Para amenizar este tipo de problema, podem-se colocar vários indivíduos para avaliar e usar ferramentas de apoio a atividades colaborativas (para suportar técnicas de *crowdsourcing*, por exemplo). Nesta pesquisa, resolveu-se adotar uma estratégia para viabilizar uma classificação semi-automática, significando que parte do processo teve atividades manuais para definição, comparação e evolução da definição dos conceitos, e parte do processo de classificação (como a coleta, e análise quantitativa) foi automatizada;

III) Formalização dos conceitos como alternativa para amenizar o caráter subjetivo da classificação: para amenizar as incertezas de um processo subjetivo de interpretação dos conceitos sobre os valores, foi feita a formalização de cada um dos valores, dado um treinamento sobre os conceitos. O estabelecimento das formalizações ajuda a diferenciar cada valor e assim possibilitar o desenvolvimento de algoritmos de classificação das postagens de maneira automatizada. As formalizações poderão ser criadas a partir da análise de um conteúdo das postagens. O procedimento de classificação e validação deverá ocorrer apenas uma vez para cada SS que seja avaliado pelo modelo MASSVA já que o resultado da validação dos padrões será a automatização. Porém, sabe-se que não é possível uma formalização de classificação que seja absolutamente igual para um mesmo valor pessoal ou social em diferentes SS. Sabe-se, também, que qualquer trabalho de pesquisa evolui. Acredita-se numa classificação baseada na Colaboração entre os avaliadores; eles deverão validar a formalização (realizando experimentos de

classificação com indivíduos não especialistas), (re) classificar quando necessário, evoluir os conceitos, e (re) definir padrões para apoiar uma classificação automática de todos os valores;

IV) Problemas para a qualidade em uso como dados do MASSVA. O modelo não possui os valores técnicos, tal como usabilidade, portabilidade, dentre outros, permitindo tão somente avaliar a expressão de valores em um SS, sem considerar a existência de problemas. Cabe ao avaliador definir o objetivo da análise da VUX de um SS;

V) Perfil do avaliador: segundo Preece *et al.* (1994), o avaliador poderá ter conhecimentos: a) de domínio, onde o avaliador deverá estar familiarizado com o SS que está sendo analisado com relação às suas principais funções e contextos de uso; b) de conhecimento sobre interface de usuário, no qual o avaliador deverá ter conhecimento sobre os principais aspectos de interação, terminologias, heurísticas e problemas que afetam a qualidade em uso; e c) o conhecimento estatístico, no qual o avaliador deverá ter conhecimento de várias técnicas estatísticas de forma a extrair conhecimentos a partir das informações obtidas. Essa estratégia deve ser seguida por qualquer indivíduo interessado pelo MASSVA (que pode ser pesquisador e aluno da área de IHC – especialista ou não).

VI) Ciclo de avaliação: a discussão sobre este item diz respeito ao momento que um SS poderá ser avaliado quanto à VUX sob a aplicação do modelo MASSVA. Foram considerados dois tipos: avaliações formativas que, segundo Preece *et al.* (1994) são aquelas feitas durante o processo de design, ou seja, antes do sistema estar terminado; avaliação somativa que, segundo Garau (2003), é realizada sobre o artefato final, ou seja, do sistema já em funcionamento.

8. Conclusão

O principal objeto da pesquisa apresentado neste artigo é o modelo de dados MASSVA, o qual possui elementos que ajudam na análise da VUX. Resultados foram apresentados neste artigo e, muito embora representem parte do total de resultados/análises obtidas na pesquisa, corroboraram para demonstrar que o MASSVA ajuda a direcionar a avaliação de problemas de qualidade em uso de SS. Primeiro porque, a relação entre os valores pessoais e sociais permitiram a definição de um formalismo sobre os conceitos. Depois, existe a relação entre os valores e as postagens relacionadas ao uso do SS, embora tenham aquelas que não estão relacionadas ao uso do SS. Descobriu-se que por meio dessas últimas, também é possível identificar possibilidades de melhorias no conteúdo e/ou na interface do SS. Verificou-se, ainda, que existem valores pessoais e sociais difíceis de serem identificados nas postagens, enquanto existem valores sociais que se encontram de forma mais frequente em certos valores pessoais.

Como trabalhos futuros, destaca-se: desenvolver algoritmos de classificação automatizada para cada um dos valores; definir uma metodologia de aplicação do modelo de dados MASSVA considerando as características apresentadas neste artigo; e aplicar o modelo de dados MASSVA, a partir de uma futura proposta de metodologia de aplicação deste modelo, em outro SS.

Referências

- Abu-Nimeh, S. ; Chen, T. ; Alzubi, O. (2011) “Malicious and Spam Posts in Online Social Networks”. Em IEEE Computer Society, P 23-28.
- Arevalo Velosa, Z.; Arcelio, H.F.; Carlos, C.I. (2010). “Social responsibility of science and engineering”. In ANDESCON, P 1-6.
- Bedi, R.; Gove, N.R. (2012) “Application of Hippocratic principles for privacy preservation in social network”. Em (WICT), P 95-101.
- Bedford, E., 1957. “Emotions,” *Proceedings of the Aristotelian Society*, 57: 281–304.
- Beiming Sun ; Dept. of Comput. (2014) “Analyzing sentimental influence of posts on social networks”, Hong Kong Polytech. Univ., Hong Kong, China. P 546-551.
- Bolea, Speranta Cecilia; Romanian Academy. (2015) “Vocabulary, synonyms and sentiments of hazard-related posts on social networks”. Em SpeD. P 14-17.
- Donath, J. S. (1999) “Identity and Deception in the Virtual Community”. Em: KOLLOCK Peter. e Marc Smith. New York: Routledge.
- Dron, J., (2007) “Designing the undisignable: social software and control”. *Educational Technology & Society*. 10(3). P 60-71.
- Garau M., (2003) “The impact of avatar fidelity on social interaction in virtual environments,”. University College London.
- Hogg, M.; Abrams D., 1988. *Social Identifications: A Social Psychology of Intergroup Relations and Group Processes*. London: Routledge.
- Holanda, Aurelio Buarque. *Dicionário Aurélio da Língua Portuguesa*. 5 th edição, 2010;
- Japiassu, H. (1977). “Introdução ao pensamento epistemológico”. 2. ed. Rio de Janeiro: F. Alves.
- Kenny, A., 1963. *Action, Emotion and Will*, London; New York: Routledge and Kegan Paul; Humanities Press.
- Klamma, R., Chatti, M., Duval, E., Hummel, H., Thora, E. (2007). “Social Software for Life-long Learning”. *Educational Technology & Society*, Vol 10. pp.72-83.
- Lee J. G.; Antoniadis, P.; Salamatian, K. (2010). “Faving Reciprocity in Content Sharing Communities: A Comparative Analysis of Flickr and Twitter”. In ASONAM, P 136- 143.
- Mayer, R. C., Davis, J. H. & Schoorman, F. D. (1995) “An Integrative Model of Organizational Trust,” *Academy of Management Review* (20), pp. 709-734.
- McLoughlin, C. and Lee, M (2007). “Social software and participatory learning: Pedagogical choices with technology affordances in the Web 2.0”, Em: Ascilite Singapore, pp.664-675.
- Mendes, M. (2015). “MALTU - Um modelo para avaliação da interação em sistemas sociais a partir da linguagem textual do usuário”. Tese (doutorado). Universidade Federal do Ceará, Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, Fortaleza, 2015.

- Morville, P. (2004) “User Experience Design”.
- Oliveira, D. C., Furtado, E. S., Mendes, M. S., (2016). “Do Users Express Values During Use of Social Systems? A Classification of Their Postings in Personal, Social and Technical Values”. In 8th International Conference, SCSM 2016, Held as Part of HCI International. Volume 9742. P 130-140.
- Pereira R., M. Cecília C. Baranauskas. (2010) “Softwares sociais: uma visão orientada a valores”. In IHC, p. 149-158.
- Pereira, R.; de Miranda, L.C.; Baranauskas, M.C.C.; Piccolo, L.S.G.; Almeida, L.D.A.; Dos Reis, J.C. Interaction design of social software: Clarifying requirements through a culturally aware artifact. Information Society (i-Society), P. 293 – 298, 2011.
- Sabourin E., MARCEL MAUSS: Da dádiva à questão da reciprocidade. Revista Brasileira de Ciências Sociais, Vol.23, 2008.
- Shirky, C. “A group is its own worst enemy: Social structure in social software”. O'Reilly Emerging Technology conference.CA.Em http://www.shirky.com/writings/group_enemy.html, 2005. Acesso em Dezembro/2015.
- Schoeman, F., (1992). “Privacy and Social Freedom”. Cambridge: Cambridge University Press.
- Smith, G. Tagging (2008) “People-Powered Metadata for the Social Web”. New Riders, Berkley.
- Sorenson, O., R. Jan, Rivkin and F. Lee;(2006). “Complexity, networks and knowledge flow”, Research Policy, vol. 35, P 994-1017.
- Srivastava J.; Ahmad M.A.; Pathak N.; Hsu D. K. W.; (2008) “Data mining based social network analysis from online behavior”. Em (SDM);
- The Belmont Report (1978): Ethical Principles and Guidelines for the Protection of Human Subjects of Research.
- Troussas, C.; Virvou, M.; et all. (2013) “Sentiment analysis of Facebook statuses using Naive Bayes classifier for language Learning”. Em (IISA). P 1-6.
- Tsai, I-C., Kim, B., Liu, P., Goggins S.P., Kumalasari, C. & Laffey, J.M. (2008) “Building a Model Explaining the Social Nature of Online Learning”. Educational Technology & Society. 11(3). P 198-215.
- Wang B., Jiting Yang, Hongpei Liu. (2010) “Understanding the Mechanism of Social Network in the Knowledge Transfer Process”. Em PICMET, P.1-6.
- Yang, S. J. H., I. Y. L. Chen, J. Huang and T. Fan, (2007) “Social network supports in knowledge sharing”, Second International Conference on Innovative Computing, Information and Control, ICICIC.

Coordenando permissões de postagem em *blogs* por meio de *Web fingerprinting*

Jordan Queiroz¹, Samantha Correa¹, Eduardo Feitosa¹, Bruno Gadelha¹

¹Instituto de Computação – Universidade Federal do Amazonas (UFAM)
CEP 69.077-000 – Manaus – AM – Brasil

{jsq, scl, efeitosa, bruno}@icomp.ufam.edu.br

Abstract. *Web fingerprinting is a technique that takes advantage of the Web technologies to extract hardware-related and software-related characteristics in order to generate, with high likelihood, a key capable of unically identify a user. Web fingerprinting can be used in two ways: benign (for authentication and evade frauds purposes) and malicious (user tracking and vulnerability exploitation purposes). In this work proposed a tool which employs Web fingerprinting to manage user's posting permission in a collaborative system environment.*

Resumo. *Web fingerprinting é uma técnica que consiste em obter características relacionadas ao software e hardware do dispositivo. De posse dessas características, uma chave de identificação pode ser gerada com alta probabilidade de ser única, dessa forma, identificando unicamente o usuário. Sua adoção dar-se a partir de duas perspectivas: benigna (autenticação e evitar fraudes) e maligna (rastrear usuários e explorar vulnerabilidades). Neste trabalho é proposto uma ferramenta que emprega Web fingerprinting para gerenciar as permissões de postagens dos usuários em ambientes de sistemas colaborativos.*

Palavras-chave – *Web fingerprinting*, coordenação, gerenciamento, Modelo 3C de Colaboração, *blog*, Sistemas colaborativos.

1. Introdução

A *Web* é o meio mais usado atualmente para realizar diversas atividades, alguns exemplos são: Transações bancárias, comunicação em mídias sociais, compartilhamento de imagens e vídeos, dentre outras [Khademi et al., 2015]. Todos esses avanços também permitem, cada vez mais, a interação e colaboração entre as pessoas por meio dos sistemas colaborativos.

Embora a *Web* e sistemas colaborativos proporcionam grande interação entre as pessoas, deve-se ressaltar que nem todas elas podem estar dispostas a se portar de forma aceitável uma para com a outra ou com o sistema em si. Por exemplo, *trolls*¹, *spams*² e *haters*³ mostram-se como ameaças que diminuem a experiência de uso e a qualidade da plataforma, seja em termo de conteúdo ou convivência online [Cambria et al., 2010].

¹Usuários anônimos que espalham mensagens ofensivas e abusivas [Cambria et al., 2010].

²Mensagens indesejadas e/ou não solicitadas que são enviadas e recebidas por e-mail, *chats*, *blogs*, etc; cujo objetivo é fazer anúncios, *phishing*, códigos maliciosos, dentre outros [Chakraborty et al., 2016].

³Usuários que demonstram críticas injustas e ódio a outros usuários ou coisas.

Existem trabalhos propostos na literatura que visam combater *spams*, *trolls*, bem como outros usuários e mensagens indesejadas, como por exemplo, Cambria et al. [2010] e Eggendorfer and Keller [2006]. No entanto, não fornecem claramente os meios que podem ser usados para prevenir e/ou remediar essa situação e, quando fornecem, o método não é o mais eficaz (bloqueio de endereço IP, por exemplo). Em todos os casos, é necessário ter o conhecimento de quem é o indivíduo responsável pela ação, como evidenciado nos trabalhos Teodoro et al. [2015] e Eggendorfer and Keller [2006].

Tendo em vista os métodos encontrados na literatura e suas limitações, neste trabalho é proposto o uso de *Web fingerprinting*, que é uma técnica usada para identificar, com alta probabilidade e de forma única, um usuário com base nas características de seu dispositivo [Acar et al., 2014]. Esta técnica pode ser usada para diversos fins, seja benigno (autenticação de usuários, melhoria de usabilidade, evitar fraudes, etc) ou malicioso (rastrear atividades de usuários, explorar vulnerabilidades, dentre outros) [Laperdrix et al., 2016].

Como contribuição, este trabalho investiga a aplicação de *Web fingerprinting* em um sistema colaborativo, neste caso, um *blog*, visando identificar, de forma única, os visitantes e coordenar suas postagens, com o objetivo de evitar a propagação de mensagens indesejadas. Este trabalho considera mensagens indesejadas aquelas oriundas de *trolls*, *haters*, *spams* e de outros indivíduos cujo comportamento é prejudicial para a interação e colaboração entre pessoas.

O trabalho está organizado como segue. Na Seção 2 é dado o *background* sobre *Web fingerprinting* e Modelo 3C de Colaboração; na Seção 3 os trabalhos relacionados são apresentados; na Seção 4 é apresentada a metodologia empregada no desenvolvimento deste trabalho; a Seção 5 apresenta o projeto de implementação do artefato desenvolvido; a Seção 6 apresenta os resultados oriundos dos experimentos e, por fim, a Seção 7 conclui o trabalho.

2. Fundamentação teórica

Esta Seção apresenta os conceitos, definições e explicações relacionados a *Web fingerprinting* e Modelo 3C de Colaboração.

2.1. Modelo 3C de Colaboração

Os sistemas colaborativos provêm meios para que as pessoas possam interagir umas com as outras, geralmente com o objetivo de realizar alguma atividade. O modelo 3C de Colaboração considera a colaboração como uma interação de três dimensões [Fuks et al., 2008] a saber:

1. **Comunicação:** Está relacionada com a troca de mensagens entre as pessoas.
2. **Coordenação:** Está relacionada com o gerenciamento de pessoas, suas atividades e recursos.
3. **Cooperação:** Ação de cooperar, de auxiliar e colaborar, prestando ajuda ou auxílio.

Este trabalho se vale da classificação do Modelo 3C de Colaboração, pois de acordo com Fuks et al. [2008] o mesmo pode ser usado para analisar, representar e também servir de base para o desenvolvimento de *groupware*. Além disso, a relação

entre comunicação, coordenação e cooperação do modelo pode ser usada como guia para analisar aplicações de *groupware*, por exemplo, *chats* e *blogs*, ferramentas que requerem a troca de mensagens (comunicação), políticas de acesso (coordenação) e compartilhamento (cooperação). A Figura 1 ilustra o Modelo 3C de Colaboração.

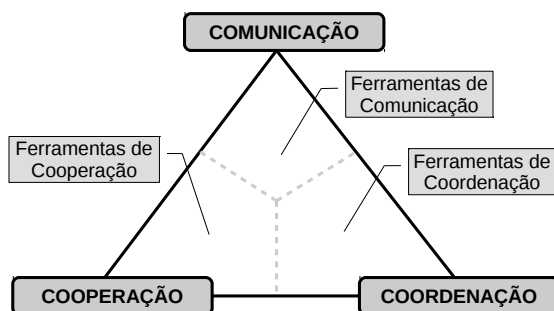


Figura 1. Modelo 3C de colaboração Pimentel et al. [2006]

2.2. Web fingerprinting

Web fingerprinting é a técnica que visa identificar, com alta probabilidade, um usuário a partir da geração de uma chave identificadora (*fingerprint*) obtida pela extração de características relacionadas ao *hardware* e *software* de seu dispositivo. A Figura 2 ilustra a dinâmica de um *Web fingerprinting*.

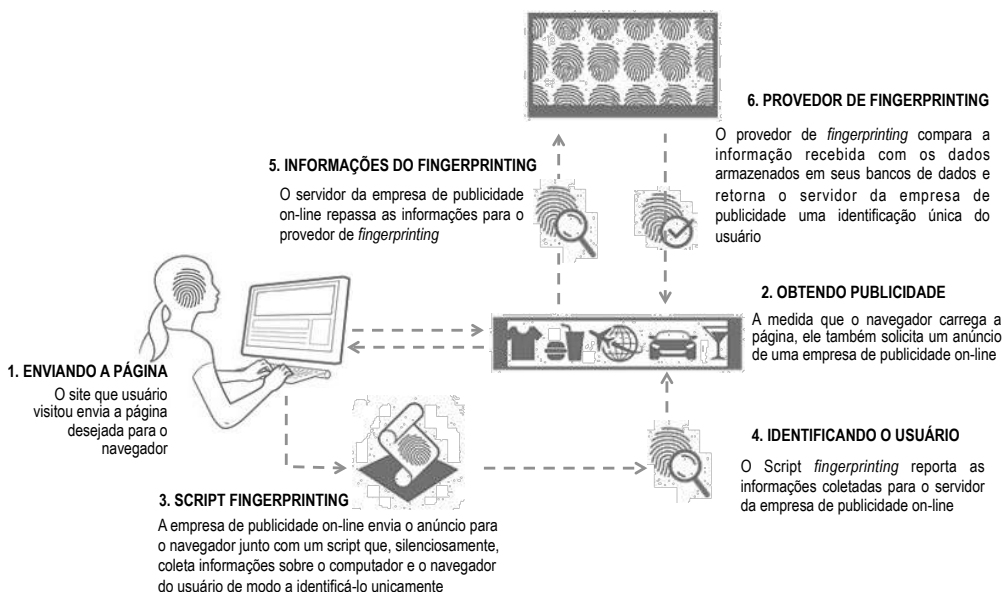


Figura 2. Dinâmica de um *Web fingerprinting* [Saraiva et al., 2014]

Como o foco da pesquisa em desenvolvimento neste trabalho é apresentar a aplicação de *Web fingerprinting* em um ambiente colaborativo para dificultar e até mesmo impedir comportamentos indevidos, ao invés de propor um método, será empregado aquele desenvolvido no trabalho de Queiroz and Feitosa [2016].

O artefato desenvolvido e apresentado neste trabalho consiste em uma ferramenta de suporte à coordenação das atividades de usuários em um sistema de *blog*, visto que o

objetivo é limitar a disseminação de mensagens impróprias em *blogs*, por meio do gerenciamento de atividades relacionadas a comunicação e interação entre usuários.

3. Trabalhos relacionados

Abu-Nimeh and Chen [2010] analisam os comentários postados em *blogs* e os classificam por do classificador SVM (*Support Vector Machine*), de forma a definir se um comentário é ou não um *spam*. Além de usar o classificador, os autores também empregam heurísticas para incrementar a precisão do mesmo na detecção de *spam*. Tal heurística se baseia no endereço de IP ou *e-mail* para mensurar a reputação de quem postou o comentário. Os autores executaram um experimento que consistiu em medir a prevalência de *spam* em comentário de *blogs*. Para isso, foram coletados e analisados 1.048.567 comentários obtidos em *blogs*. Como resultado, os autores concluíram que 75% dos comentários eram *spams*. Além disso, as pessoas que disseminavam *spam* tinham métodos de contornar contramedidas como IP *blacklisting*, por exemplo.

Unger et al. [2013] propõem um *framework* que, através de *Web fingerprinting*, é capaz de monitorar as características de um navegador *Web*. Através desse monitoramento a ferramenta detecta quando há roubo de sessão. Os autores optam por essa estratégia porque atualmente, as autenticações em sites são realizadas apenas uma vez e então um *cookie* de sessão fica armazenado no dispositivo do usuário, sendo que o primeiro pode ser interceptado em uma rede desprotegida. A técnica de *Web fingerprinting* que os autores utilizam se baseia nos padrões do HTML5 e do CSS3, que até o tempo de escrita do trabalho desenvolvido por Unger et al. [2013], possuíam muitas diferenças de implementação em diversos *browsers*, dessa forma, viabilizando os métodos de *Web fingerprinting*. No entanto, a técnica proposta é vulnerável ao ataque *man-in-the-middle*⁴ pois, segundo os autores, o algoritmo de criptografia Diffie-Hellman⁵ no JavaScript é vulnerável a tal ataque durante a negociação do segredo da chave.

Bursztein et al. [2016] apresentam um método de *device class fingerprinting* capaz de determinar a classe de um dispositivo, sendo esta composta pelo conjunto $\{\text{navegador, sistema operacional}\}$. Diferentemente dos outros trabalhos da literatura, esse método não identifica de forma única um dispositivo. A principal tecnologia utilizada pela proposta é o HTML5 Canvas. A técnica desenvolvida pelos autores cria desafios para os quais o dispositivo precisa dar respostas que são verificadas pelo servidor. Com estas é possível reconhecer a assinatura da classe do dispositivo e, dessa forma, os autores obtém 100% de precisão ao determinar a classe do dispositivo. Ademais, afirmam conseguir detectar tentativas de *login* por força bruta, ataques a lojas de aplicativo (*fake install, fake rating, etc*). No entanto, o trabalho não identifica de forma única um dispositivo, mas sim uma classe composta pelo conjunto $\{\text{navegador, sistema operacional}\}$.

4. Metodologia

O objetivo desta pesquisa é aplicar *Web fingerprinting* de forma benigna, isto é, visando beneficiar as pessoas que utilizam a ferramenta (neste caso, um *blog*) que implementa o primeiro. A metodologia empregada no desenvolvimento da pesquisa foi o *Design Science Research* que, de acordo com Dresch et al. [2015], consiste na obtenção de artefatos com

⁴Ataque em que os dados trocados entre duas pessoas são interceptados por uma terceira.

⁵Algoritmo específico para a troca de chaves entre dispositivos.

capacidade de resolver problemas do mundo real, mas que também contribuem com a comunidade científica. De forma sucinta, a metodologia supracitada requer as seguintes etapas: Definição do problema a ser resolvido, proposta de solução, desenvolvimento e avaliação do artefato, conclusões e divulgação dos resultados experimentais.

O problema abordado neste trabalho emergiu do fato de que atualmente a interação entre as pessoas está cada vez maior em diversos ambientes, inclusive na *Web*, favorecendo a colaboração entre indivíduos. No entanto, para que o bom convívio possa existir em um ambiente virtual, é necessário evitar situações que possam ameaçá-lo, por exemplo, usuários mal-intencionados cujas atitudes se mostram ofensivas, difamatórias e até mesmo discriminatórias. Dessa forma, ocorreu a seguinte pergunta: "Como dificultar e até mesmo impedir que as atividades de indivíduos considerados maliciosos possam prejudicar a boa interação e colaboração entre pessoas na *Web*?"

Dessa maneira, observou-se a oportunidade de propor uma solução alternativa que emprega conhecimentos da área de segurança da informação em conjunto com sistemas colaborativos. Para isso, este trabalho conta com o desenvolvimento e avaliação de uma ferramenta que emprega um método de *Web fingerprinting*, que por sua vez é integrada a um *blog*, sendo que este foi escolhido por ser uma das plataformas que permitem a interação e colaboração entre as pessoas. O objetivo do artefato é dificultar e impedir a disseminação de mensagens indesejadas oriundas de usuários maliciosos na *Web*, preservando a boa convivência e colaboração entre indivíduos e a qualidade das informações disponibilizadas em ambientes virtuais *Web* (no caso deste trabalho, um *blog*).

Para validar o artefato, foi realizado um estudo com potenciais usuários de *blog*. A métrica para avaliação e validação é se um dado usuário, uma vez que sua conduta seja classificada manualmente pelo administrador como indevida, poderá interagir novamente com outras pessoas por meio de sua conta autêntica, contas falsas e dispositivos diferentes. É importante notar que a classificação é realizada de forma manual, ou seja, é necessário que o administrador encontre a publicação hostil (comentário exprimindo ódio, por exemplo) e observe o usuário que a realizou e, logo em seguida, prosseguir para a ferramenta e revogar a permissão de publicação do usuário.

5. Projeto e implementação

O artefato desenvolvido neste trabalho está dividido em módulos. Cada um deles está listado e descrito como segue. A Figura 3 ilustra a integração da ferramenta com o *blog*.

- **Coletor:** É o método de *Web fingerprinting* responsável por coletar as características relacionadas ao dispositivo do usuário, gerando uma chave única de identificação e transmitindo-a para o **verificador**.
- **Verificador:** Esse módulo recebe do **coletor** a chave de identificação do cliente. De posse da mesma, este módulo verifica se o usuário tem autorização ou não para interagir no *blog*.
- **Banco de dados:** Armazena o identificador único de cada usuário, bem como o seu nome e o *status* da permissão de postagem, sendo que a esta é concedida enquanto o *status* é *1* e revogada quando é *0*.
- **Bloqueador:** Cabe a este módulo capacitar o responsável pelo *blog* ou pela página *Web* de bloquear a permissão de postagem do usuário considerado hostil, preservando a boa interação e colaboração entre usuários.

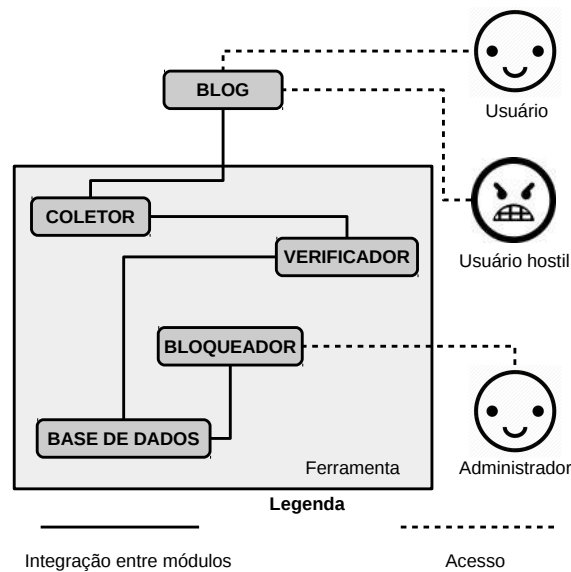


Figura 3. Integração da ferramenta com o *blog*.

Vale ressaltar que o *blog* não está listado, uma vez que este é o objeto de estudo da proposta. O *blog* funciona como um ambiente de interação e colaboração entre as pessoas, proporcionando comunicação entre as mesmas, além de permitir que o administrador coordene as atividades dos usuários segundo as condutas (boas ou ruins) dos mesmos. Todos os módulos foram integrados com o *blog* e este foi instalado em um servidor localizado na universidade, possibilitando que usuários voluntários pudessem participar dos experimentos.

Na Figura 3, os usuários acessam o *blog*, mais precisamente a página para publicar comentários. Então o **coletor** extrai as características relacionadas ao dispositivo do usuário para gerar o *fingerprint* do mesmo. Após este processo, o coletor envia a chave identificadora para o **verificador**, que por sua vez checa pela existência da mesma. Se o *fingerprint* não existir, então este é adicionado ao **banco de dados**, em uma tabela de novos usuários e é concedida a permissão de postagem para o visitante. Caso contrário, uma das duas situações pode ocorrer: (I) A chave é existente e o visitante tem permissão de postagem, dessa forma, a ferramenta permitirá publicações ou (II) A chave consta no registro do banco, mas o usuário não tem permissão para publicar e, conseqüentemente, o artefato não dará permissão para enviar mensagens, impedindo a interação com outros usuários. Quando uma postagem que não respeita as políticas de conduta do ambiente for detectado pelo administrador do mesmo, é possível revogar a permissão de publicação de quem enviou a mensagem, por meio do **bloqueador**. Este módulo lista todos os *fingerprints* e seus respectivos nomes de usuários, exibindo a opção de bloquear qualquer pessoa cujas publicações sejam consideradas indevidas. A interface gráfica do módulo bloqueador está ilustrada na Figura 4.

6. Avaliações e resultados experimentais

Após a integração da ferramenta ao *blog*, foi realizado um experimento com usuários voluntários. A experimentação ocorreu no laboratório de informática da universidade com os alunos de uma disciplina, onde cada um deles acessou o *blog* e criou um cadastro

Gerenciar Usuários

Fingerprint	Usuário	
43f2489aadb854e1ff846e9ec7396b6d	user1	Bloquear
8c2f8ac0affaaedba7f247cf2f2a439f	user2	Desbloquear
99d4651fdb628ea4ccd3f1b9da1ba5a7	user3	Bloquear
b90f08c3ebc39a3c6c4ea45915ccc5aa	user4	Desbloquear

Figura 4. Interface gráfica do módulo bloqueador.

para poder publicar mensagens. Ao todo, o experimento contou com a participação de 17 alunos, sendo que alguns optaram por usar o próprio computador e/ou celular, enquanto os demais optaram por usar os computadores disponíveis no laboratório, sendo estas máquinas clonadas. Optou-se por restringir a permissão de postagens a usuários cadastrados pois foi assumido que, em situações habituais, usuários anônimos podem tirar proveito para publicar mensagens indevidas, no entanto, o foco deste trabalho é impedir que usuários já cadastrados (seja com uma conta autêntica ou falsa) publiquem mensagens indesejadas.

O processo experimental consistiu em diversas etapas compostas por tentativas de publicar mensagens. As fases são descritas como segue e a Figura 5 ilustra, em alto nível, o processo experimental. (I) Criar uma conta no *blog*, realizar a autenticação, encontrar uma publicação e publicar algum comentário em relação a mesma, interagindo com outros indivíduos; (II) Após as primeiras publicações, selecionar dois usuários distintos a partir do módulo bloqueador e revogar a permissão de publicação dos mesmos; (III) Solicitar que algum voluntário capaz de interagir no sistema realize o *login* em um dispositivo cujo alguém tenha sido bloqueado e então tente publicar alguma mensagem; (IV) Bloquear todos os usuários e observar se algum deles conseguem realizar novas publicações; (V) Solicitar a todos os usuários cuja permissão de publicação foi negada que os mesmos tentem postar mensagens a partir de dispositivos em quais não foram bloqueados e (VI) Após uma nova rodada de bloqueios total, solicitar para que todos os voluntários troquem de navegador *Web* e tentem publicar mensagens.

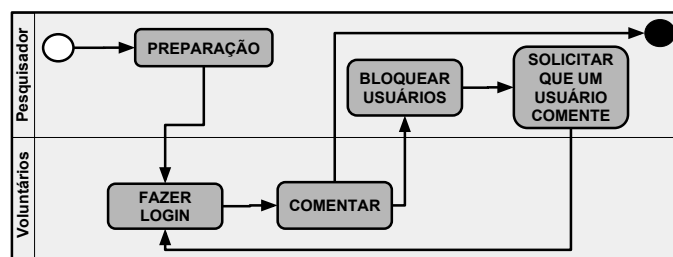


Figura 5. Diagrama em alto nível das etapas do experimento realizado.

6.1. Resultados e discussão

Todos os usuários conseguiram publicar mensagens na primeira etapa, pois tinham permissão para realizar tal atividade. Na segunda etapa, os usuários selecionados para serem bloqueados ficaram impedidos de realizar postagens, enquanto os demais continuaram a interagir uns com os outros no *blog*. Na terceira etapa, não foi permitido que um usuário interagisse com o *blog* a partir de um dispositivo no qual seu dono estava impedido de interagir com o sistema e seus usuários. Na quarta etapa, onde todos os voluntários foram bloqueados, não houve interação alguma. No quinto estágio, com todos os voluntários usando dispositivos diferentes dos anteriores, observou-se interações entre os indivíduos (mesmo que todos tivessem sido bloqueados anteriormente). Na sexta e última etapa, todos foram bloqueados novamente, mas mesmo assim houve interação no *blog* quando um navegador *Web* alternativo era utilizado para acessá-lo.

Os resultados observados na terceira e quinta etapa podem ser preocupantes, devido ao usuário com boas condutas ficar incapacitado de interagir a partir de um dispositivo bloqueado, enquanto um indivíduo com condutas impróprias ser capaz de interagir a partir de um dispositivo não bloqueado. No entanto, vale ressaltar que geralmente as pessoas utilizam seus próprios dispositivos. Dessa maneira, as ocorrências de um usuário benigno logar a partir um dispositivo bloqueado (este pertencente a um usuário hostil) são baixas.

Embora na quinta etapa seja possível que um usuário hostil esteja capacitado de interagir com as outras pessoas no *blog* por meio de um dispositivo diferente daquele bloqueado, é importante notar que o indivíduo pode ter a permissão de publicação revogada no novo dispositivo, dessa forma ficando impedido de interagir por meio dos dois dispositivos. Em um determinado momento, o usuário hostil ficará com todos os dispositivos bloqueados e usar emulação pode ser um trabalho desgastante, dificultando o comportamento indevido.

Com relação a revogação de interação, uma das maneiras de bloquear um indivíduo malicioso de forma eficaz é através de suas credenciais de *login*. No entanto, é possível criar contas falsas e usá-las diversas vezes a partir do mesmo dispositivo, pois este não estará bloqueado. Uma máquina bloqueada, por outro lado, impedirá que um indivíduo interaja por meio de contas falsas. Obviamente técnicas de *fingerprinting* não são as balas de prata para revogar permissões, mas podem ser úteis para complementar os meios convencionais. Um dos exemplos de que *fingerprinting* não resolve todos os problemas é quando um usuário troca de navegador *Web* (como é possível observar na sexta etapa do experimento), gerando uma nova chave de identificação única, mas isso acontece porque as técnicas de *fingerprinting* mais comuns extraem características relativas ao navegador *Web*. Dessa maneira, fica evidente mais vez uma que *fingerprinting* pode ser usado para complementar mecanismos existentes que atuam na prevenção contra condutas impróprias em ambientes colaborativos *online*.

6.1.1. Limitações

Pelo fato do artefato proposto neste trabalho ser um protótipo funcional, o mesmo possui limitações que, dependendo do caso, podem impedir o seu devido funcionamento.

Pelo fato do método de *Web fingerprinting* empregado pelo artefato desenvolvido neste trabalho ser volátil a mudanças no navegador, isso pode ser encarado como uma limitação que pode frustrar em médio prazo a operação de bloqueio. No entanto, vale ressaltar que esta limitação é um dos problemas em aberto na literatura de *Web fingerprinting*, embora existam propostas para tratar essa exceção, estas não estão no contexto deste trabalho.

Por fim, outra limitação é que esse método não funcionará em máquinas clonadas⁶ (muito presentes em universidades), pois o *Web fingerprinting* extrai características de *hardware* e *software*. No entanto, por todas serem idênticas, assim que uma for bloqueada ou desbloqueada, todas também serão. Vale ressaltar também que este é um dos problemas em aberto na literatura de *Web fingerprinting*.

7. Conclusões

Este trabalho desenvolveu, apresentou e avaliou um artefato que emprega *Web fingerprinting*, visando beneficiar os indivíduos que utilizam ferramentas onde há interação e colaboração entre as pessoas, proporcionando também ao responsável pela ferramenta a coordenação das atividades dos usuários, para dificultar e até mesmo impedir as atividades de interação daquele considerado como nocivo a boa convivência no ambiente online (no caso deste trabalho, um *blog*).

Observou-se, a partir dos experimentos, que a ferramenta desenvolvida neste trabalho é capaz de bloquear as interações de usuários que violam a conduta de uso, uma vez que a pessoa responsável pelo *blog* decidir bloquear as postagens de um usuário. Pode-se observar também que a ferramenta associa o bloqueio ao dispositivo de um indivíduo (ao contrário de considerar apenas o nome de usuário), dificultando uso de contas falsas como um vetor de ataque. Embora as trocas de dispositivos permitam a um *hater* ou *troll* realizar publicações indevidas, agir dessa forma requer maior quantidade de esforço, o que pode desmotivar a ação.

Por fornecer ao responsável do *blog* o controle sobre as permissões de interações dos usuários, a ferramenta pode ser analisada de acordo com Modelo 3C de Colaboração, mas com o foco na coordenação, que consiste no gerenciamento de pessoas, suas atividades e recursos.

7.1. Trabalhos futuros

Como trabalhos futuros, podem-se destacar:

- Associar o bloqueio não só ao dispositivo de um usuário hostil, mas também à conta do mesmo.
- Identificar um usuário mesmo que seu *fingerprint* tenha sofrido modificação.

8. Agradecimentos

Os autores deste trabalho agradecem à todas as pessoas envolvidas na revisão do texto, sugestões e na participação dos experimentos e também agradecem à instituição de fomento CAPES por viabilizar esta pesquisa.

⁶Máquinas que possuem a mesma configuração de *hardware* e *software*.

Referências

- Abu-Nimeh, S. and Chen, T. M. (2010). Proliferation and Detection of Blog Spam. *IEEE Security Privacy*, 8(5):42–47.
- Acar, G., Eubank, C., Englehardt, S., Juarez, M., Narayanan, A., and Diaz, C. (2014). The Web Never Forgets: Persistent Tracking Mechanisms in the Wild. In *Proceedings of the 2014 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security*, pages 674–689, Scottsdale, Arizona, USA. ACM New York, NY, USA ©2016.
- Bursztein, E., Malyshev, A., Pietraszek, T., and Thomas, K. (2016). Picasso: Lightweight Device Class Fingerprinting for Web Clients. In *Proceedings of the 6th Workshop on Security and Privacy in Smartphones and Mobile Devices*, pages 93–102, Vienna, Austria. ACM New York, NY, USA ©2016.
- Cambria, E., Chandra, P., Sharma, A., and Hussain, A. (2010). Do Not Feel The Trolls. *ISWC*.
- Chakraborty, M., Pal, S., Pramanik, R., and Ravindranth Chowdary, C. (2016). Recent developments in social spam detection and combating techniques: A survey. *Information Processing & Management*, 52(6):1053–1073.
- Dresch, A., Lacerda, D. P., and Júnior, J. A. V. A. (2015). *Design science research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia*. Bookman Editora.
- Eggendorfer, T. and Keller, J. (2006). Dynamically blocking access to web pages for spammers’ harvesters. In *Communication, Network, and Information Security*, pages 205–210.
- Fuks, H., Raposo, A., Gerosa, M., Pimental, M., and Lucena, C. (2008). The 3C Collaboration Model. In *Encyclopedia of E-collaboration*, pages 637–644. IGI Global.
- Khademi, A. F., Zulkernine, M., and Weldemariam, K. (2015). An Empirical Evaluation of Web-Based Fingerprinting. *IEEE Software*, 32(4):46–52.
- Laperdrix, P., Rudametkin, W., and Baudry, B. (2016). Beauty and the Beast: Diverting modern web browsers to build unique browser fingerprints. In *IEEE Symposium on Security and Privacy (SP)*, pages 878–894. IEEE.
- Pimentel, M., Gerosa, M. A., Filippo, D., Raposo, A., Fuks, H., José, C., and Lucena, P. D. (2006). Modelo 3C de Colaboração para o desenvolvimento de Sistemas Colaborativos. *Anais do III Simpósio Brasileiro de Sistemas Colaborativos*, pages 58–67.
- Queiroz, J. S. and Feitosa, E. L. (2016). LETTY: Uma implementação de Website Fingerprinting. In *Anais do XVI Simpósio Brasileiro em Segurança da Informação e de Sistemas Computacionais*, volume 1, pages 555–564, Niterói - RJ, Brazil.
- Saraiva, A., Feitosa, E., Elleres, P., and Carneiro, G. (2014). Device Fingerprinting: Conceitos e Técnicas, Exemplos e Contramedidas. In Santos, A., Graaf, J., Nogueira, J., and Oliveira, L., editors, *Livro de Minicursos do XIV Simpósio Brasileiro em Segurança da Informação e de Sistemas Computacionais - SBSeg2014*, pages 49–98, Belo Horizonte - MG. SBC.
- Teodoro, J., Gerosa, M. A., Wiese, I. S., and Steinmacher, I. (2015). Quem é quem na lista de discussão? Identificando diferentes e-mails de um mesmo participante. In *Anais do Simpósio Brasileiro de Sistemas Colaborativos*, pages 78–85.
- Unger, T., Mulazzani, M., Fruhwirt, D., Huber, M., Schrittwieser, S., and Weippl, E. (2013). SHPF: Enhancing HTTP(S) session security with browser fingerprinting. In *2013 International Conference on Availability, Reliability and Security*, pages 255–261, Regensburg, Germany. IEEE.

Laboratórios Online Móveis em um Ambiente de Experimentação Colaborativo

José Pedro Schardosim Simão¹, João Paulo Cardoso de Lima²,
Hamadou Saliah-Hassane³, Juarez Bento da Silva¹, João Bosco da Mota Alves¹

¹ Laboratório de Experimentação Remota (RExLab) –
Universidade Federal de Santa Catarina – Campus Araranguá (UFSC)
Araranguá/SC – Brasil

²Instituto de Informática – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)
Porto Alegre/RS – Brasil

³Departamento de Ciência e Tecnologia – Télé-Université, Universidade de Quebec (TÉLUQ)
Montreal – Canada

pedro.simao@posgrad.ufsc.br, jpclima@inf.ufrgs.br,
hsaliah@teluq.ca, juarez.silva@ufsc.br, jbosco@inf.ufsc.br

Abstract. *Remote laboratories play an important role in increasing flexibility and the extent of practical activities in teaching. However, the current remote laboratories distribution model does not consider a dynamic scenario that includes collaboration, peer-to-peer labs and mobile labs. This paper presents a set of tools for creating collaborative learning environments with on-line mobile labs that allow students to implement their own laboratories and share them with classmates and teachers. The approach used is compatible with the machine and network configurations that the target user has in schools and at home, and provides the retrieval of information for learning evaluation.*

Resumo. *Os laboratórios remotos têm papel importante no aumento da flexibilidade e do grau de alcance de atividades práticas no ensino. No entanto, o modelo atual de distribuição dos laboratórios remotos não considera um cenário dinâmico que inclua colaboração, laboratórios peer-to-peer e móveis. Neste artigo é apresentado um conjunto de ferramentas para criação de ambientes colaborativos de aprendizagem com laboratórios online móveis que permite aos estudantes criarem seus próprios laboratórios móveis e compartilhá-los com colegas e professores. A abordagem utilizada mostra-se compatível com configurações máquinas e redes que o usuário alvo possui em escolas e na sua residência e prevê a recuperação de informações para avaliação de aprendizagem.*

1. Introdução

A experimentação é uma atividade primordial no ensino e aprendizagem de ciência, engenharia e tecnologia, e a realidade das práticas laboratoriais foi profundamente alterada pelo advento das Novas Tecnologias de Informação e Comunicação. Ferramentas como simulações, realidade virtual e laboratórios remotos têm sido usadas para tornar as aulas mais interativas. Mesmo os laboratórios tradicionais são, na maioria das vezes, mediados por computadores e outros dispositivos digitais.

Diante do aumento significativo da matrícula em instituições de ensino e pesquisa em alguns países em desenvolvimento como o Brasil [UNESCO 2016], e com a necessidade de mobilidade de estudantes em alguns países desenvolvidos, grandes desafios precisam ser superados. Dentre as barreiras que já conhecemos, estão a disponibilidade e gestão de laboratórios convencionais para muitos alunos, aquisição e manutenção de equipamentos, bem como as atualizações de software que estão em constante mudança.

Nesse contexto, os laboratórios online têm sido usados como uma alternativa aos laboratórios tradicionais há alguns anos. Os laboratórios online são "ferramentas tecnológicas que um aluno pode utilizar para realizar trabalhos de laboratório em redes de computadores, sozinho ou em colaboração com outros participantes, a distância ou em um contexto de aprendizagem invertida"[Saliah-Hassane and Reuzeau 2014]. Os laboratórios remotos, por exemplo, têm sido usados para tornar as atividades de laboratório mais flexíveis em muitos ramos do conhecimento e em diferentes estágios educacionais: primário, secundário e terciário.

As simulações, também chamadas de laboratórios virtuais, seguem um modelo matemático para obter resultados próximos da natureza, mas não são capazes de lidar com o comportamento experimental em ambientes reais. Laboratórios remotos, por outro lado, usam dispositivos reais que podem ser manipulados pelos alunos, representando sistemas reais de forma mais eficaz.

A fim de implementar laboratórios remotos para o ensino e aprendizagem em ciências e engenharia, muitos desafios foram superados até agora, mas outras soluções ainda precisam ser encontradas. Por exemplo, a interoperabilidade e o gerenciamento de recursos federados de laboratórios remotos são uma grande preocupação quando se trata de compartilhar laboratórios entre diferentes instituições [Orduña 2013].

Como alternativa aos laboratórios remotos convencionais, neste artigo propomos o uso de laboratórios móveis por meio de um ambiente colaborativo. Neste cenário, os alunos criam seus próprios experimentos e compartilham o acesso e controle do dispositivo por meio de uma solução web, onde o professor tem acesso às interações realizadas e resultados obtidos.

2. Experimentação em Ambientes Colaborativos

Os laboratórios online têm sido frequentemente utilizados como complemento à experimentação prática, ou em alguns casos, como em cursos de educação a distância, como alternativa às atividades laboratoriais tradicionais. Esses recursos tecnológicos permitem que alunos e professores conduzam práticas laboratoriais de forma mais flexível e interativa, e podem oferecer experiências diferentes considerando as várias configurações possíveis.

Dependendo da localização e da natureza da experiência (quão real ou virtual ela é), os laboratórios online são geralmente classificados como virtuais, remotos ou híbridos, conforme modelo apresentado na Figura 1, adaptada de [Auer et al. 2003], [Zutin et al. 2010] e [Rodriguez-Gil et al. 2016].

Os laboratórios virtuais utilizam modelos matemáticos para simular os fenômenos estudados, compreendendo geralmente uma interface digital inspirada no equipamento real para apresentar entradas e saídas simuladas. Estes laboratórios são extremamente

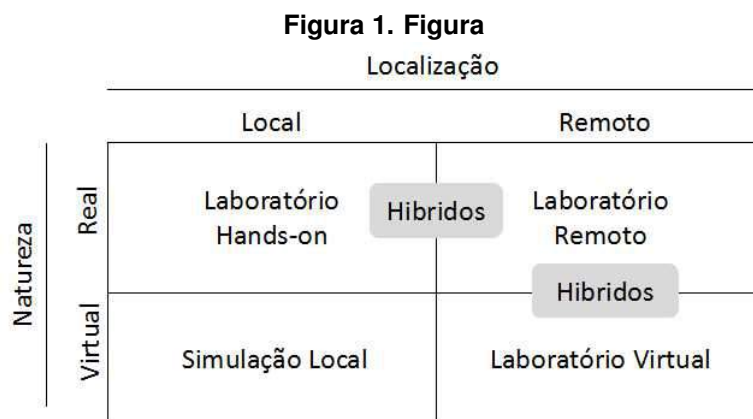


Figura 2. Classificação de laboratórios de acordo com a localização e a natureza

flexíveis e escaláveis, mas muitas vezes desconsideram variáveis de ambiente e erro experimental.

Os laboratórios remotos, por outro lado, baseiam-se em equipamentos reais que podem ser controlados pela Internet. No entanto, eles são muito mais difíceis de gerenciar e dimensionar, exigindo controle de concorrência ao recurso e a criação de múltiplas instâncias de um laboratório, a fim de apoiar a sua utilização em um ambiente de produção. Além disso, dependendo da configuração, um laboratório remoto pode ser muito específico, exigindo muitas regras de segurança para evitar danos [Rodriguez-Gil et al. 2016] e para garantir que o usuário obtenha os resultados esperados.

Laboratórios híbridos são soluções compostas por diferentes tipos de laboratórios. Geralmente, a abordagem para laboratórios híbridos considera somente casos compostos por laboratórios reais e virtuais, conforme descrito em [Bochicchio et al. 2015]. No entanto, dependendo do cenário de aprendizagem, um laboratório remoto poderia ser manipulado usando controles reais locais, como o uso de dispositivos hápticos apresentado por [Restivo et al. 2011], por exemplo, sendo então um laboratório híbrido.

O conceito em torno de laboratórios móveis tem sido explorado há algum tempo e interpretado de diferentes maneiras por pesquisadores em educação, ciência e engenharia [Costa and Alves 2006]. Uma das abordagens recorrentes, apresentada por [Silva et al. 2014] e [Zappatore et al. 2016], está associado com a concepção tradicional de experimentação remota, fazendo uso de dispositivos móveis para acessar e manipular laboratórios em diferentes locais através da internet.

Por outro lado, a ideia de laboratórios móveis apresentada neste trabalho considera o dispositivo que é objeto de experimentação sob controle móvel e hospedado pelo aluno. Assim, um aluno pode criar seu próprio laboratório usando microcontroladores de baixo custo, como Arduino, ou *single-board computers*, como Raspberry Pi. Mesmo que os laboratórios neste caso sejam reais e estejam em posse de um aluno, o dispositivo sob controle precisa estar conectado à Internet para compartilhar seu controle, entradas e saídas entre os usuários em um cenário colaborativo. Neste caso, estes laboratórios podem ser descritos como híbridos, uma vez que pode ser remoto ou hands-on dependendo de quem detém o equipamento e quem está o controlando.

Além disso, os laboratórios móveis podem abrir uma série de novas possibilidades para ambientes colaborativos. Alguns avanços já foram feitos em pesquisas anteriores, a fim de enriquecer a colaboração na experimentação online, e soluções como ambientes colaborativos [Bochicchio et al. 2015] e mundos virtuais 3D foram utilizados para compartilhar laboratórios remotos [Antonio et al. 2016]. Usando os laboratórios móveis em tais cenários, vários grupos são capazes de realizar a mesma experiência ao mesmo tempo, os usuários podem pausar sessões e retomar a qualquer momento sem redefinir o laboratório ou aguardar outros usuários.

A fim de desenvolver uma camada de aplicação comum para laboratórios móveis, compatível com diferentes plataformas e clientes, é importante tomar uma abordagem baseada em módulos que podem ser reutilizados em diferentes aplicações. O modelo conhecido como Lab como um Serviço (LaaS) propõe que os laboratórios online sejam entregues como um serviço capaz de trocar e usar informações de diferentes sistemas e serviços [Tawfik et al. 2014]. Este método baseia-se no desenvolvimento de laboratórios online como módulos de componentes independentes, a fim de facilitar a manutenção, reutilização e interoperabilidade.

Nesse modelo, a especificação de Smart Device descreve a comunicação e as interfaces entre cliente e servidor, fornecendo um conjunto de informações que podem ser usadas para fornecer serviços da Web para acessar sensores e atuadores [Salzmann et al. 2015].

3. Experiência de Aprendizagem em Experimentação Online

A avaliação dos resultados de aprendizagem dos alunos é crucial para a realização de atividades laboratoriais em ambientes online. Acompanhar o comportamento dos usuários em aplicativos de aprendizagem é importante não apenas para avaliação, mas também para descobrir padrões de aprendizagem e projetar melhores atividades.

A captura e análise de dados de aprendizagem já foram exploradas em aplicações de laboratórios remotos, primeiramente usando a análise de redes sociais para acompanhar a experiência dos alunos [Orduña et al. 2014] e, recentemente, usando a aprendizagem analítica para oferecer aos alunos social e auto-consciência através do processo de experimentação remota [Venant et al. 2016].

Considerando o cenário dos laboratórios móveis, onde a experiência de aprendizagem é centrada no aluno, o professor precisa ter um feedback adequado do desenvolvimento da atividade para determinar se o experimento teve o resultado esperado e se os alunos aprenderam as habilidades necessárias nesse cenário. A avaliação também é um problema quando se usam laboratórios em cursos de grandes turmas ou MOOCs, o que requer um esforço considerável e tempo de professores e tutores.

O uso da Experience API (xAPI), anteriormente conhecida como TinCan API, permite a fácil descoberta de comportamento de aprendizagem, tornando possível a formalização, armazenamento e recuperação de experiências de aprendizagem [Hamzah et al. 2015]. Os dados armazenados podem ser utilizados pelos professores para acompanhar o progresso dos alunos em disciplinas gerais ou em competências específicas, facilitando a sua avaliação e a avaliação do objeto educativo.

Uma experiência de aprendizado em xAPI é rastreada e formatada em uma ins-

trução, na qual um ator executa uma ação em um objeto (ator + verbo + atividade + propriedades adicionais) [ADL 2017]. Esta declaração é então armazenada em um Learning Record Store (LRS), de onde ele pode ser posteriormente recuperado e analisado.

O LRS pode fornecer dados para outras aplicações, como Learning Management Systems (LMS), e também tem um mecanismo de relatório, permitindo a visualização de dados da combinação de ator, verbo e atividade ao longo do tempo.

4. Solução Desenvolvida

A partir da necessidade de ferramentas e de padrões para compartilhar laboratórios online móveis, nesse trabalho é descrito um protótipo de ambiente de aprendizagem e componentes que dão suporte aos laboratórios móveis e à colaboração. A solução é composta por quatro componentes principais: Smart Device, Lab Gateway, Learning Record Store (LRS) e Lab@Home, um ambiente de aprendizagem colaborativa.

O primeiro componente define as interfaces de comunicação entre o servidor de laboratório e o cliente de laboratório. Para solucionar alguns problemas relacionados à configuração de rede e descoberta de dispositivos, um gateway é disposto entre o Lab@Home e o Smart Device. O Lab@Home compreende diferentes características de um ambiente de aprendizagem colaborativo e fornece acesso a laboratórios remotos. Finalmente, a interação dos alunos com o ambiente de aprendizagem é armazenada para posterior análise, que é capturada pelo plugin xAPI no Lab@Home e registrada no LRS, conforme a Figura 2.

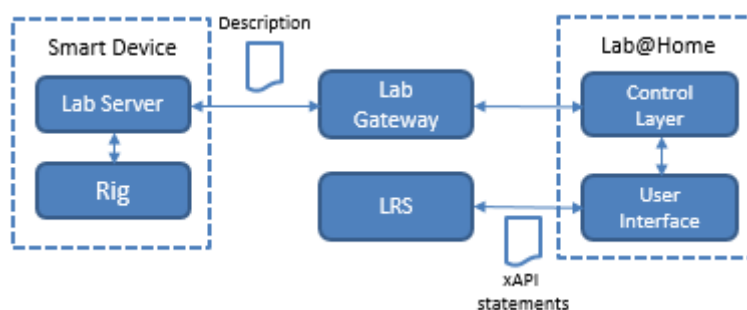


Figura 3. Arquitetura da solução

4.1. Smart Device

Neste cenário, o Smart Device, também chamado de textitlab server, é o servidor capaz de gerir um equipamento físico alvo, enquanto seu cliente, também conhecido como textitlab client, é a aplicação inclusa na interface do usuário do componente Lab@Home. A especificação de Smart Device implica em fornecer todas as funções e componentes de laboratório em um arquivo de descrição de serviços como um conjunto de serviços abstratos [Salzmann et al. 2015]. Nesse trabalho, a especificação é estendida para que os serviços do Smart Device não sejam barrados por firewalls, NAT ou por outra configuração de rede que poderia obstruir o acesso ao laboratório.

Esta abordagem baseia-se em um servidor de laboratório que atua como uma aplicação cliente usando protocolo WebSocket. Como o WebSocket fornece um canal de

comunicação full-duplex sobre uma única conexão TCP, um cliente pode atuar como servidor e cliente ao mesmo tempo, semelhantemente ao princípio utilizado no WebRTC. Para esse comportamento, um gateway, chamado de Lab Gateway, é necessário para centralizar o acesso a esses servidores de laboratório.

Assim, uma aplicação cliente se conecta ao Lab Gateway e realiza as solicitações conforme o arquivo de descrição, que inclui solicitações HTTP e WebSocket. Foi adotada essa abordagem em vez de usar a placa como o servidor de laboratório porque neste cenário, onde o aluno pode usar o laboratório em casa, geralmente não há endereços IP válidos disponíveis.

Foram implementados dispositivos inteligentes utilizando duas plataformas de hardware, uma para dispositivos Arduino e compatíveis, e outra para *single-board computers* usando Node.js, como Raspberry Pi. Ambas as implementações são baseadas no protocolo Socket.IO, que estende os recursos do WebSocket.

Assim, usando esses códigos como exemplos, o equipamento e o servidor de laboratório podem ser desenvolvidos pelos próprios alunos e, em seguida, conectados a um Lab Gateway. A análise de circuitos elétricos é um exemplo simples de uso, uma vez que a maioria das placas de desenvolvimento permitem a geração e aquisição de sinais.

4.2. Lab Gateway

O Lab Gateway é a aplicação responsável por encaminhar as solicitações do cliente para o servidor de laboratório. Ele age como um middleware traduzindo solicitações, tanto WebSocket como HTTP, provindas dos usuários ou até mesmo do servidor de laboratório.

A comunicação tem de ser iniciada pelo servidor de laboratório, uma vez que ele é implementado como um cliente WebSocket. No entanto, esse estágio inicial também é usado para informar o estado real do laboratório, isto é, se está online ou offline. Além de enviar o arquivo de descrição, o laboratório também estabelece um canal WebSocket que será usado para trocar dados provenientes dos serviços de *stub*.

Assim que o arquivo de descrição é armazenado e analisado, o Lab Gateway cria um esboço (*stub*) dos serviços do dispositivo inteligente e vincula as mensagens HTTP ou WebSocket provenientes dos usuários para esse servidor de laboratório. O Lab Gateway fornece a descrição do laboratório para o cliente de laboratório como se fosse um dispositivo inteligente, mesmo substituindo endereços e caminhos no arquivo de descrição do serviço.

O grupo de usuários que se conectará ao servidor de laboratório é definido no laboratório, pois o gateway de laboratório compartilha informações através do mesmo banco de dados MySQL que o Lab@Home usa. Os usuários podem receber mensagens de *broadcast* originadas do servidor de laboratório e usar o mecanismo de controle de concorrência definido pelo servidor de laboratório, como fila e agendamento.

4.3. Lab@Home

O Lab@Home, o aplicativo cliente (Figura 3), foi desenvolvido como um aplicativo web responsivo, tornando-o compatível com dispositivos móveis e desktop. A interface do usuário usa HTML5, front-end Bootstrap 3 e a biblioteca JavaScript jQuery 3. O back-end é baseado no Laravel 5.3, um framework PHP MVC. Para o bate-papo e compartilha-

mento de arquivos, bem como para atualizar o status dos usuários, foi usado um servidor Node.JS com a biblioteca Socket.IO.

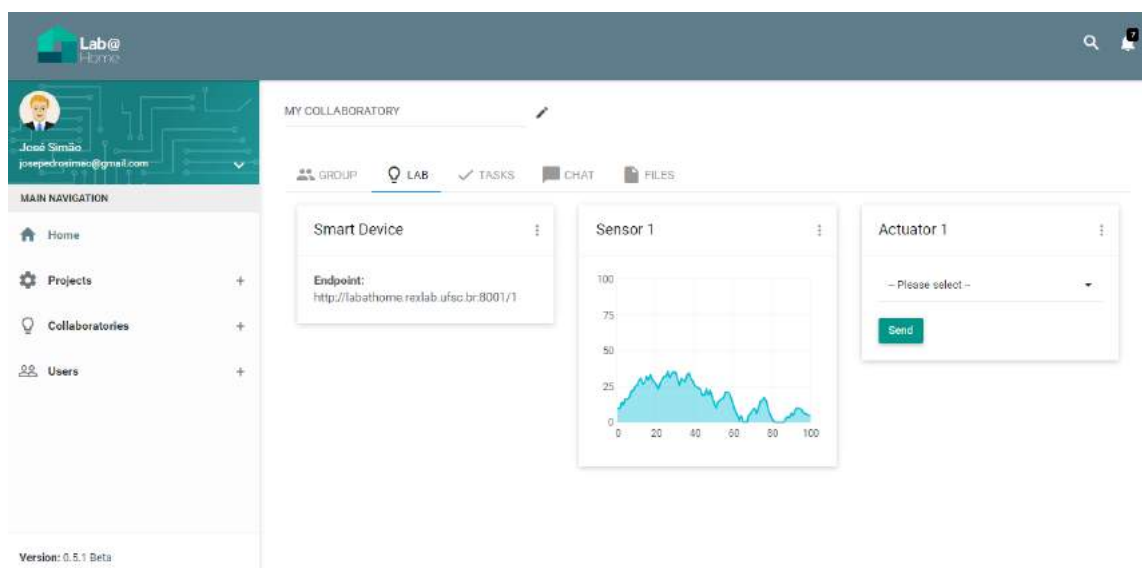


Figura 4. Exemplo de colaboratório

Os alunos acessam e manipulam os laboratórios, criam colaboratórios (ambientes de colaboração) para compartilhar dispositivos e interagir com outros usuários durante o processo de experimentação. Os espaços de trabalho são criados pelos próprios alunos, que também podem editar informações e adicionar outros membros.

Entre as funcionalidades disponíveis nos colaboratórios estão o gerenciamento de usuários (status do usuário, adição e remoção), compartilhamento de arquivos em repositórios de arquivos individuais e em grupo, sala de bate-papo e gerenciamento de tarefas (criação, atribuição, conclusão e devida). Os usuários também podem criar uma sala de videoconferência dentro do colaboratório, onde eles podem falar, compartilhar suas telas e mostrar o dispositivo em teste. A guia videoconferência foi desenvolvida usando Appear.in SDK, uma aplicação de vídeo chamada.

Todas as mensagens enviadas no chat, arquivos e informações de uma sessão são armazenadas no banco de dados, de modo que os usuários podem pausar e reiniciar uma sessão, ou recuperar dados de colaboradores terminados.

Os colaboratórios também podem ser criados a partir de modelos de projeto definidos por professores, com tarefas e arquivos específicos. Uma interface específica para o laboratório também pode ser definida pelo professor na criação do projeto, por isso, em uma tarefa, por exemplo, todos os alunos de um curso podem ter os mesmos recursos.

As ações e resultados de colaboratórios são armazenados em um LRS usando xAPI. Os usuários e dispositivos inteligentes são considerados como atores, armazenando não apenas as interações dos usuários com o sistema e entre si, mas também as mensagens enviadas pelo Smart Device. O vocabulário usado pelos atores humanos pode ser generalizado, e está mais ligado aos aspectos comportamentais (display, require, present, connect, disconnect, share, etc.), enquanto o vocabulário usado no smart device pode variar dependendo do experimento, sendo neste caso especificado no arquivo de descrição.

Usamos uma instância do Learning Locker (Figura 4), um LRS baseado em PHP que recebe as instruções geradas na interface do usuário colaborador por solicitações AJAX. Esta implementação fornece funcionalidades de relatório, tornando possível gerar gráficos e exportar dados por diferentes combinações de atores, verbos e objetos.



Figura 5. Learning Record Store

5. Considerações Finais

Este trabalho abordou a criação de um ambiente colaborativo para a experimentação online móvel. A solução possibilita que os alunos criem seus próprios laboratórios e os compartilhem em um ambiente colaborativo. Além disso, fornecemos modelos de software para placas de desenvolvimento amplamente conhecidas, o que permite que os alunos usem seus próprios equipamentos eletrônicos para ampliar o trabalho de laboratório usando a solução desenvolvida.

O modelo adotado no desenvolvimento, usando o gateway de laboratório para conectar dispositivos sem endereços IP válidos ao aplicativo cliente, pode ser usado em diferentes cenários para publicar laboratórios online, minimizando problemas com NAT e firewalls.

Em relação ao uso de xAPI, ainda não há vocabulário específico para armazenar experiências de aprendizado de laboratórios online. Padronizado este vocabulário é de extrema importância, permitindo a cooperação e comparação de resultados entre diferentes estudos. Nesse sentido, como um trabalho futuro, seria importante definir verbos e atividades para o uso de xAPI com laboratórios online.

6. Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer ao Departamento de Relações Exteriores, Comércio e Desenvolvimento (DFTAD) do Governo do Canadá pela bolsa concedida através do Programa Futuros Líderes nas Américas (*Emerging Leaders in the Americas Program*, ELAP) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro através de bolsas e materiais para condução da pesquisa.

Referências

- ADL, A. D. L. I. (2017). *Experience API: Advanced Distributed Learning (ADL) Co-Laboratories*.
- Antonio, C. P., Lima, J. P. C., Alves, J. B. M., Silva, J. B., and Simão, J. P. S. (2016). Merging a remote microscope and virtual worlds: Teaching kingdom plantae on basic education. *International Journal of Online Engineering (iJOE)*, 12(4):3.
- Auer, M., Pester, A., Ursutiu, D., and Samoila, C. (2003). Distributed virtual and remote labs in engineering. In *IEEE International Conference on Industrial Technology, 2003*, volume 2, pages 1208–1213.
- Bochicchio, M. A., Longo, A., Vaira, L., and Zappatore, M. (2015). Fostering online scientific experimentations in universities and high schools: The edoc project. In *2015 3rd Experiment International Conference*, pages 337–342.
- Costa, R. J. and Alves, G. R. (2006). Remote and mobile experimentation: Pushing the boundaries of an ubiquitous learning place. *IFAC Proceedings Volumes*, 39(4):314–320.
- Hamzah, W. M. A. F. W., Ali, N. H., Saman, M. Y. M., Yusoff, M. H., and Yacob, A. (2015). The use of tin can api for web usage mining in e-learning applications on the social network. In *2015 IEEE Symposium on Computer Applications and Industrial Electronics (ISCAIE)*, pages 113–118.
- Orduña, P. (2013). *Transitive and Scalable Federation Model for Remote Laboratories*. Thesis, Universidad de Deusto.
- Orduña, P., Almeida, A., López-de Ipiña, D., and Garcia-Zubia, J. (2014). Learning analytics on federated remote laboratories: Tips and techniques. In *2014 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, pages 299–305.
- Restivo, M. T., Lopes, A. M., Machado, L. d. S., and Moraes, R. M. d. (2011). Adding tactile information to remote and virtual labs. In *2011 IEEE Global Engineering Education Conference*, pages 1120–1124.
- Rodriguez-Gil, L., Garcia-Zubia, J., Orduña, P., and Lopez-de Ipiña, D. (2016). Towards new multiplatform hybrid online laboratory models. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, PP(99):1–1.
- Saliah-Hassane, H. and Reuzeau, A. (2014). Mobile open online laboratories: A way towards connectionist massive online laboratories with x-api (c-mools). In *2014 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE) Proceedings*, pages 1–7.
- Salzmann, C., Govaerts, S., Halimi, W., and Gillet, D. (2015). The smart device specification for remote labs. *International Journal of Online Engineering (iJOE)*, 11(4):9–29.
- Silva, J. B. d., Rochadel, W., Simão, J. P. S., and Fidalgo, A. V. d. S. (2014). Adaptation model of mobile remote experimentation for elementary schools. *IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje*, 9(1):28–32.
- Tawfik, M., Salzmann, C., Gillet, D., Lowe, D., Saliah-Hassane, H., Sancristobal, E., and Castro, M. (2014). Laboratory as a service (laas): a novel paradigm for developing and implementing modular remote laboratories. *International Journal of Online Engineering (iJOE)*, 10(4):9.

- UNESCO, I. f. S. (2016). Brazil - education and literacy.
- Venant, R., Vidal, P., and Broisin, J. (2016). Learning analytics for learner awareness in remote laboratories dedicated to computer education. In *Workshop on Learning Analytics for Learners in 6th International Conference on Learning Analytics and Knowledge (LAK 2016)*, pages 31–37, New York, NY, USA. ACM.
- Zappatore, M., Longo, A., and Bochicchio, M. A. (2016). Enabling mool in acoustics by mobile crowd-sensing paradigm. In *2016 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, pages 733–740.
- Zutin, D. G., Auer, M. E., Maier, C., and Niederstätter, M. (2010). Lab2go: A repository to locate educational online laboratories. In *IEEE EDUCON 2010 Conference*, pages 1741–1746.

Aplicação da prática colaborativa no desenvolvimento de um jogo para o ensino da programação

**Mauro Marcelo Mattos¹, Luciana Pereira de Araújo¹, Fabrícia Durieux Zucco²
Nelson Hein³, Karina Zendron da Cunha⁴, Gabriel Castellani de Oliveira¹
Leonardo Rossi Bordone¹, Nathan Kruger¹, Lucas Eduardo Schlögl¹
Adriane Tomé⁴, Pedro Lima Bursoni²**

¹ Laboratório de Desenvolvimento e Transferência de Tecnologias (LDTT)
Departamento de Sistemas e Computação
Universidade Regional de Blumenau (FURB) – Blumenau, SC – Brazil

² Departamento de Comunicação
Universidade Regional de Blumenau (FURB) – Blumenau, SC – Brazil

³ Departamento de Matemática
Universidade Regional de Blumenau (FURB) – Blumenau, SC – Brazil

⁴ Departamento de Letras
Universidade Regional de Blumenau (FURB) – Blumenau, SC – Brazil

Resumo. *Este artigo é parte de um projeto de extensão que tem por objetivo ensinar crianças a programar através de joguinhos. O artigo apresenta a fase de concepção do jogo, o qual foi realizada por uma equipe interdisciplinar de computação, comunicação e letras. Para a concepção foram utilizadas técnicas de design colaborativo e foi aplicado o método CARD para a definição das regras do jogo. Para a produção, utilizou-se da abordagem de processos de negócio de forma colaborativa, na qual foi definido um fluxo de atividades para cada parte da equipe. Este artigo apresenta o desenvolvimento e discute a aplicabilidade dos métodos para a concepção de um produto.*

1. Introdução

O termo “Pensamento Computacional” (WING, 2006) traz uma nova abordagem para a área da Ciência Cognitiva e da Ciência da Computação, pois parte da premissa de que a inserção dos conceitos da Ciência da Computação na educação básica desenvolve uma habilidade de abstração diferente, a qual ajuda as crianças na resolução de problemas em todas as áreas da vida. Dessa forma, o Pensamento Computacional é uma habilidade para todos, e não apenas para futuros cientistas da computação.

Conforme Nunes (2011), o raciocínio computacional é intuitivo no ser humano e se manifesta já na idade infantil. Portanto, a criança naturalmente raciocina de forma computacional. Por exemplo, uma criança tem a capacidade de realizar várias atividades (algoritmos) em paralelo (simultaneamente), mantendo controle sobre elas. Entretanto, tal capacidade não é explorada adequadamente na educação básica. Como consequência, o raciocínio intuitivo (e computacional) se perde ao longo do desenvolvimento do indivíduo,

a tal ponto que, em geral, um adolescente tem mais dificuldades de resolver problemas de maneira intuitiva e, conseqüentemente, de maneira computacional, do que uma criança.

A Extensão Universitária caracteriza-se com um processo interdisciplinar, educativo, cultural, científico e político que promove a interação transformadora entre Universidade e outros setores da sociedade. Sabe-se também que a relação dialógica entre universidade e sociedade promove a interação entre teoria e prática e potencializa a articulação entre os saberes sistematizados, acadêmicos e populares.

O projeto Furbot foi concebido como ferramenta de apoio ao ensino de conceitos de programação e vem sendo utilizado desde 2008 na disciplina de introdução a programação do primeiro semestre dos cursos de Sistemas de Informação e Ciência da Computação. Como a ferramenta atual foi desenvolvida por profissionais da computação que atuam no ensino superior, a ferramenta está voltada para este público alvo. Assim, se por um lado a experiência de oito anos de alguns dos extensionistas com o uso da ferramenta endossa a iniciativa de leva-la para estudantes do Ensino Fundamental, os quais têm menor contato com disciplinas que fomentam o raciocínio lógico e o pensamento computacional (WING, 2006), por outro lado, coloca um desafio que justifica a composição da equipe interdisciplinar para esse projeto, já que é preciso despertar o interesse dos alunos pelos saberes associados aos conteúdos que serão desenvolvidos, seja por meio de um layout mais atrativo para a ferramenta, seja pela proposta pedagógica envolvida na elaboração das oficinas.

Como o layout da ferramenta é bastante simples, o desafio da equipe interdisciplinar do projeto é adequar o ambiente do Furbot para a realidade da Educação Básica e possibilitar o desenvolvimento de conteúdos adequados à idade, à maturidade e às características dos recursos humanos envolvidos (qualificação tecnológica dos professores da escola), bem como da infraestrutura de TI disponível aos alunos.

Como primeiro ponto de atividade, decidiu-se construir um tabuleiro físico baseado na ferramenta Furbot para que as crianças entre 9 e 10 anos possam ter os primeiros conceitos de programação. Para a construção deste, utilizou-se das práticas colaborativas em um ambiente interdisciplinar.

Dentro desse contexto, o presente artigo está dividido da seguinte forma. A seção 2 apresenta alguns trabalhos relacionados ao jogo a ser desenvolvido. A seção 3 discorre sobre as práticas colaborativas no desenvolvimento de um produto. A seção 4 discute o desenvolvimento do tabuleiro através de um estudo de caso no qual foi aplicada a metodologia das práticas colaborativas. Por fim, a seção 5 apresenta a conclusão e os trabalhos futuros.

2. Trabalhos Relacionados

Foi realizada uma pesquisa com relação aos jogos de tabuleiro existentes no mercado que são voltados para o ensino da programação. Com base nos resultados encontrados, são apresentados três jogos de tabuleiro que auxiliam o aprendizado da programação, sendo C-Jump [Kholodov 2016], Robot Turtles [Lazowska and Etzioni 2014] e Robot Wars [Akuthota 2016].

O C-Jump [Kholodov 2016] tem por objetivo ensinar crianças a aprender conceitos das linguagens de programação C, C++ e Java. O jogo ocorre num tabuleiro com

cenário de esquiadores (Figura 1), no qual o jogador que passar todos os seus esquiadores pela linha de chegada vence o jogo. Para alcançar a linha de chegada, o jogador deve seguir os passos do tabuleiro que são sequências de comandos de programação, como *switch*, *if* e *else*. Além dos comandos de programação, o jogo treina as habilidades matemáticas de soma, subtração, divisão e multiplicação. Os comandos de programação e cálculos devem ser executados em uma sequência lógica para que o jogador atinja seu objetivo final, sendo assim, o jogo auxilia no desenvolvimento da compreensão de um programa de computador, formado por sequências de passos lógicos.



Figure 1. Tabuleiro c-jump (esquerda) e Robot Turtles (direita)
[Kholodov 2016]; [Lazowska and Etzioni 2014]

O jogo Robot Turtles [Lazowska and Etzioni 2014] é um jogo voltado para crianças entre 3 e 8 anos que ensina os fundamentos da programação. Os personagens do jogo são tartarugas e o cenário do tabuleiro possui algumas variações, sendo a mais comum uma paisagem de um lago. Cada jogador é responsável por uma tartaruga (representada através de uma carta) e precisa fazê-la chegar a um objetivo que varia conforme o enunciado da vez. Em alguns cenários, são colocados obstáculos pelo caminho de modo a bloquear algumas passagens, como apresentado na Figura 1. Para que a tartaruga atinja o objetivo ela deve utilizar outras cartas que contêm direções como virar e andar. O jogo ensina a criança a ter um pensamento lógico e sequencial de modo que consiga atingir o objetivo colocando as cartas no cenário.

Por fim, o jogo Robot Wars é um jogo de estratégia voltado a crianças e adultos, possuindo vários níveis que garantem o aprendizado progressivo. Cada jogador é responsável por um robô e recebe cartas que contêm comandos de programação em Java. Há vários níveis de cartas sendo: *i* iniciante, comandos para o aprendizado de passos sequenciais; *ii* intermediário, formado por comandos condicionais e de repetição; e *avançado*, formado por chamada de métodos. O objetivo do participante é chegar ao ponto central do tabuleiro e durante o caminho do mapa pode “matar” os robôs adversários, sendo que devem retornar a casa inicial. Para andar pelo tabuleiro, o jogador na sua vez retira uma carta do monte (Figura 2), que contém uma instrução de movimentação (direita, esquerda, frente, trás) e, se conseguir realizar o movimento, tem direito a uma carta recurso. A carta recurso (Figura 2) contém um código-fonte mais elaborado com comandos condicionais, repetição ou função e podem ser utilizadas quando o jogador achar necessário. São através das cartas de recurso que o jogador aprende os comandos da programação.

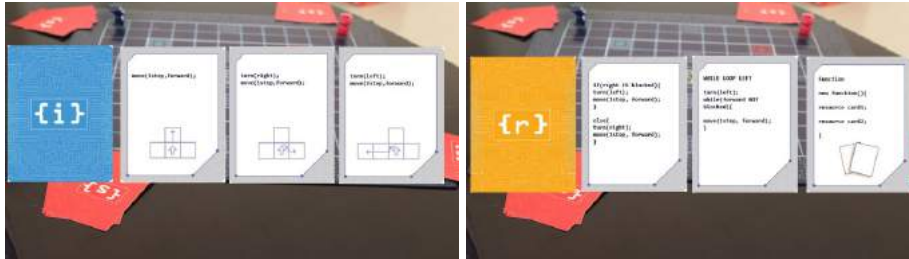


Figure 2. Carta de comando (esquerda) e Carta recurso (direita)
[Akuthota 2016]

3. Práticas Colaborativas no Desenvolvimento de um Produto

Através da atuação em grupo é possível promover a integração dos conhecimentos e capacidades de cada um, a partir dos pontos de vistas diferenciados e habilidades complementares [Fuks et al. 2002].

De acordo com [Fuks et al. 2002], a atuação em grupo tende a promover a integração de capacidades e de conhecimentos e, ainda, a interação entre pessoas com pontos de vista e habilidades complementares. Por meio da prática colaborativa, as pessoas podem obter *feedback* e identificar antecipadamente falhas e inconsistências, criar alternativas para a resolução dos problemas, selecionar as soluções viáveis e tomar decisões.

Desde a década de 90, o Modelo 3C de Colaboração tem sido aplicado para diferentes finalidades, tais como guiar a especificação de uma nova ferramenta ou produto [Pereira and Soares 2007] ou analisar o suporte computacional de uma já existente [Fuks et al. 2002]. Para o desenvolvimento de um produto, há um conjunto de passos a serem realizados para obtenção do resultado. Esses processo, se realizado de forma conjunta pela organização, tende a ser finalizado com sucesso mais precisamente. De acordo com [Santoro et al. 2012], um fator a ser levado em conta durante o processo do negócio é a colaboração, pois através dela é possível o compartilhamento do conhecimento afim de obter o sucesso da solução.

Durante a realização de um processo de forma colaborativa é importante que cada participante desempenhe uma responsabilidade sobre a execução de uma determinada tarefa [Santoro et al. 2012], sendo de acordo com sua habilidade [Fuks et al. 2002]. Esses participantes devem trocar informações ou elaborar artefatos de forma cooperada, buscando a solução para o negócio. Para que o processo do desenvolvimento de um novo negócio ocorra corretamente é necessário estabelecer regras, ordens e condições de execução, sendo que os elementos que compõem o processo são: objetivo, evento, atividade, ator/agente, entrada, saída e regra [Santoro et al. 2012].

De acordo com a Figura 3, definido por Santoro [Santoro et al. 2012], tem-se um modelo de como executar de forma prática a colaboração em um processo de negócio. Conforme pode-se observar, é necessário planejar como se dará a comunicação durante a execução da atividade, como será realizado o trabalho em grupo e quem serão os coordenadores de cada processo, como será realizada a integração dos produtos gerados individualmente e qual é a percepção social em relação a este planejamento inicial. Após a etapa do planejamento, há o processo do desenvolvimento do negócio, identificado pela etapa

de percepção. Nessa etapa é necessário distribuir as informações entre os envolvidos, os coordenadores devem acompanhar o andamento das atividades, os membros devem cooperar entre si compartilhando os conhecimentos produzidos, sendo assim que todos os envolvidos devem ter a percepção do processo. Por fim, após a conclusão do processo é importante que haja um momento reflexivo. Nessa etapa deve-se realizar uma reunião de encerramento, afim de avaliar o produto final e compartilhar o conhecimento tácito gerado com o desenvolvimento do produto. Ainda nessa etapa é importante que os membros tenham a percepção da colaboração durante o processo do negócio.

	Comunicação	Coordenação	Cooperação	Percepção
Planejado	Planejamento da comunicação	Planejamento de trabalho em grupo	Integração de produtos individuais	Percepção social
Perceptivo	Distribuição das informações	Acompanhamento	Compartilhamento de conhecimento explícito	Percepção de processo
Reflexivo	Reunião de encerramento	Avaliação	Compartilhamento de conhecimento tácito	Percepção da colaboração

Figure 3. Práticas para um projeto de colaboração no processo do negócio
[Santoro et al. 2012]

4. Desenvolvimento do Processo

Com o objetivo de construir um projeto que atraia a atenção das crianças para o aprendizado da lógica, viu-se a necessidade de uma equipe interdisciplinar. Dessa forma, a equipe composta por membros dos cursos de Ciência da Computação, Sistemas de Informação, Matemática, Comunicação Social e Letras se uniram para a construção de um jogo de tabuleiro que permita o aprendizado da programação. A partir desta equipe, foi possível alcançar os diferentes conhecimentos exigidos para a construção de um jogo que ensine a programação, sendo eles: conceitos da programação, exercícios matemáticos, design do jogo, construção dos personagens e, construção dos enunciados de forma atrativa para o público alvo desejado.

Para a construção do jogo, utilizou-se a metodologia de práticas colaborativas através de algumas técnicas de design. A primeira técnica aplicada foi a *Collaborative Analysis of Requirements and Design* (CARD) [Preece et al. 2005], na qual foram disponibilizados para os participantes materiais para que montassem o seu tabuleiro. Porém, a técnica foi aplicada de forma colaborativa, sendo que a medida em que um integrante colocava uma parte do tabuleiro, os demais opinavam e adicionavam as suas contribuições. Na Figura 4 pode-se observar a reunião com a aplicação da técnica CARD na qual os participantes estão trabalhando com o jogo produzido até o momento. Nessa primeira etapa, houve a participação de membros dos cursos de Ciência da Computação, Sistemas de Informação e Letras. Antes de iniciar a reunião e a aplicação da técnica,

solicitou-se aos participantes que estudassem os jogos correlatos, afim de terem uma ideia para a construção do jogo em questão. A técnica CARD foi utilizada, pois é uma técnica para análise de tarefas para o desenho de fluxos de atividades em um sistema [Tudor et al. 1993]. Através dela é possível ter uma visão macroscópica das atividades necessárias e da sequência em que elas são realizadas [Tudor et al. 1993], [Preece et al. 2005].



Figure 4. Reunião com aplicação da técnica CARD para construção do jogo

Com a técnica CARD foi possível identificar o fluxo do jogo, assim como as tarefas que devem ser implementadas para a sua conclusão. Durante a reunião, foram necessários alguns ajustes até se chegar à configuração do jogo, pois o CARD permitiu a visualização de problemas na dinâmica ou com as cartas. Após a conclusão da reunião, obteve-se a ideia do jogo, tendo como resultado as seguintes características:

- o jogo possui um tabuleiro formado por 12 linhas e 12 colunas;
- todos os participantes iniciam de uma mesma casa do tabuleiro, que é sorteada a partir de dados (assim a criança aprende conceitos básicos de matriz), sendo o 4 o número máximo de participantes;
- cada participante recebe 5 cartas, tendo uma direção (norte, sul, leste, oeste) ou um coringa (trocar cartas com o colega, trocar cartas com o monte, ficar uma vez sem jogar);
- o objetivo é chegar a um alvo no tabuleiro, que também é sorteado com os dados;
- para algumas rodadas, podem ser colocados obstáculos nas casa, também sorteados através dos dados;
- na sua jogada, o jogador pode escolher jogar as cartas (quantas quiser), afim de alcançar o objetivo ou trocar 2 cartas com o monte e passar a vez;
- vence o jogador que atingir o alvo por primeiro.

Após a definição do jogo, iniciou-se o processo do desenvolvimento do negócio, sendo neste caso o jogo. Para isso, as atividades foram distribuídas com a equipe interdisciplinar, sendo que cada um recebeu sua atividade e sua definição de fluxo. A Figura 5 apresenta um diagrama de atividades com a definição do processo colaborativo utilizado para o desenvolvimento do jogo.

Nesse processo, o time de computação ficou responsável pela definição do jogo, das regras e da validação do tabuleiro. O time da comunicação ficou responsável pela

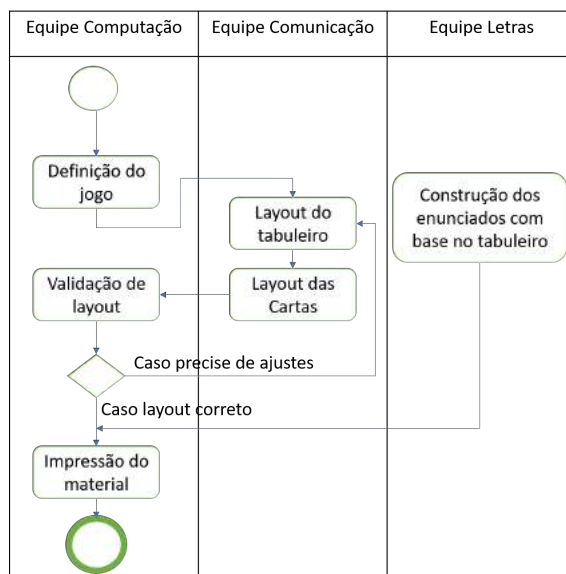


Figure 5. Processo colaborativo para desenvolvimento do jogo

aparência e desenho do tabuleiro e das cartas. Por sua vez, o time de letras se responsabilizou pela construção dos enunciados com base nas definições pré-estabelecidas pela reunião inicial.

A colaboração entre os membros da equipe é necessária para assumir a característica de um processo colaborativo. O objetivo de realizar a tarefa em conjunto é obter o feedback constante dos participantes de modo a evoluir a tarefa a ser concluída, além de identificar em conjunto as melhores estratégias a serem aplicadas para a sua conclusão, de modo que uma tarefa se complete a outra. Sem estes elementos, não há colaboração e sim somente uma troca de ideias. Durante o processo de realização do jogo, essa prática foi constante e sistemática, reunindo a maior quantidade de membros da equipe. Sendo assim, apesar da divisão das tarefas entre as equipes, o trabalho para a realização de cada uma delas foi realizado de forma colaborativa entre os participantes daquela equipe. Por sua vez, após a conclusão de cada tarefa pela equipe, as equipes se uniam para discutir as melhorias possíveis na tarefa concluída, sendo outra colaboração fornecida no projeto.

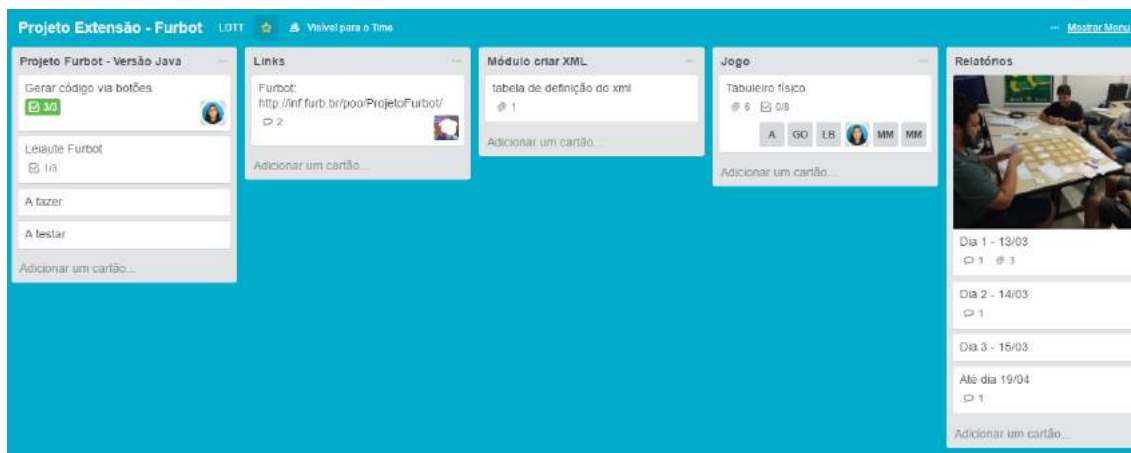


Figure 6. Método Kanban aplicado através do Trello

Para a sistemática dessa colaboração, foram definidos métodos a serem aplicados no processo prático do projeto do jogo. O primeiro método, como já mencionado foi o CARD para identificação macro das funcionalidades do jogo e de como o mesmo seria jogado. O segundo, foi o *Design Sketchboard*, que segundo [Furnell 2010] é um método que se baseia em um esboço para desenvolver e compartilhar rapidamente conceitos de um projeto. Esse método foi utilizado para desenhar o tabuleiro de modo que a equipe de comunicação pudesse identificar como produzir o visual gráfico do tabuleiro, a equipe de computação pudesse iniciar a produção do desenvolvimento do jogo e a equipe de letras e matemática pudessem descrever as atividades. Para a concepção do tabuleiro, todos os membros se uniram aplicando esta técnica em folhas de papel até obter a definição do layout. Por fim, para que a comunicação se desse de forma colaborativa utilizou-se o Kanban por ser uma forma de colaboração contínua, incentivando o aprendizado e a melhoria do trabalho [Bernardo 2014]. O Kanban foi aplicado através da ferramenta Trello, como pode ser visualizado na Figura 6, pois alguns membros da equipe trabalhavam em horários diferenciados ou em outras localidades, sendo necessário uma ferramenta online para permitir que esta colaboração pudesse ser efetivada. Através do Trello foram criados *cards* por funcionalidades que foram compartilhados com todo o time de modo que cada um pudesse dar sua contribuição e seu *feedback*.

	Comunicação	Coordenação	Cooperação	Percepção
Planejado	Trello como forma de formalizar a comunicação. Reuniões semanais com toda a equipe.	Cada equipe ficou com um membro responsável por gerir a tarefa em grupo	Cada membro escolheu a atividade conforme sua maior afinidade para ser seu trabalho foco. Todos os participantes auxiliaram uns aos outros nas tomadas de decisões para a construção das funcionalidades.	A escola que receberá o projeto ficou interessada, pois acredita que o projeto poderá auxiliar também no aprendizado de outras disciplinas para os alunos.
Perceptivo	Cada membro teve acesso a informação compartilhada e conseguiu identificar o que cada um dos demais estava realizando no período	O coordenador acompanhou o processo via Trello e pessoalmente durante cada atividade.	A equipe de letras levou seu conhecimento a respeito de escrita textual para crianças, a equipe de publicidade levou seu conhecimento a respeito de layout, a equipe de matemática levou seu conhecimento a respeito de problemas e a equipe de computação seu conhecimento a respeito de programação.	Até o momento, a escola se mostrou satisfeita com o trabalho desenvolvido.
Reflexivo	Ao final da execução das etapas foi realizada uma reunião para identificar o resultado alcançado até o momento e planejar uma próxima etapa e intervenção	Tarefa produzida conforme esperado	Todas as equipes passaram a ter um pouco mais de entendimento sobre as áreas que não eram de sua afinidade, pois para o projeto ser executado, é importante o conhecimento do todo	A colaboração se mostrou ativa, pois foi possível desenvolver as atividades de forma paralela e integrá-las sem a necessidade de alteração de qualquer parte. Mostrando assim, que as equipes e membros estavam se comunicando e colaborando durante a concepção do jogo.

Figure 7. Prática colaborativa na construção do jogo

Durante toda a construção do jogo, utilizou-se o modelo de prática colaborativa recomendado por [Santoro et al. 2012], como já foi apresentada na Figura 3, para estruturar o processo de colaboração. A Figura 7 apresenta a prática colaborativa para o processo de colaboração em cada uma das etapas do projeto. De modo geral, decidiu-se que a comunicação se daria através da plataforma Trello para que toda a equipe pudesse visualizar durante o desenvolvimento a troca de informações, além de ter uma percepção do andamento do projeto. Um membro de cada time ficou responsável pela coordenação do seu grupo de forma a realizar o acompanhamento das atividades. Durante toda a etapa, os membros das equipes cooperaram entre si, tanto para a definição, quanto produção e avaliação do jogo. Ao final, os membros se reuniram afim de validar o jogo produzido para então realizar a impressão do material.

O resultado do jogo pode ser visualizado na Figura 8. Decidiu-se construir um tabuleiro contendo o mapa de Blumenau e Santa Catarina, pois é um dos assuntos trabal-

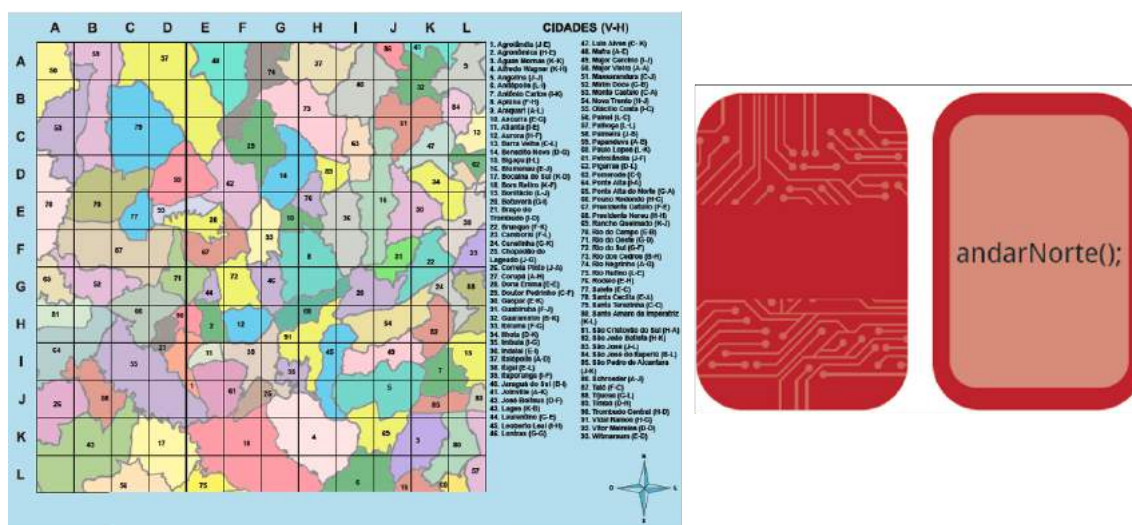


Figure 8. Jogo produzido pela equipe de forma colaborativa com um exemplo das cartas

hados com as crianças na escola. Assim, estarão num contexto conhecido, aprendendo uma prática nova. Sobre as cartas, optou-se pelo direcionamento conforme a rosa dos ventos disponibilizada também no mapa, dessa forma é mais um conceito de geografia reforçado durante a prática do jogo de programação.

5. Conclusão e trabalhos futuros

Baseado nos trabalhos correlatos, pode-se dizer que o jogo projetado tem semelhanças relacionadas aos três jogos. O tabuleiro resultante do jogo é semelhante ao jogo Robot Turtles [Lazowska and Etzioni 2014], pois é dividido em linhas e colunas, formando quadrantes para que o usuário atinja seu objetivo. Outra característica com este jogo é que podem haver obstáculos no caminho, fazendo com que o participante tenha que realizar um contorno pelo obstáculo. Com relação às cartas, tem-se a semelhança ao jogo Robot Wars [Akuthota 2016], pois as cartas disponibilizadas para os jogadores contém comandos que indicam a direção em que o jogador deve se mover pelo tabuleiro. Ainda, pode-se relacionar as cartas recursos com as cartas coringas, pois através delas o jogador deve tomar uma estratégia de quando utiliza-la afim de alcançar seu objetivo. Por fim, pode-se relacionar o trabalho em questão com o c-jump [Kholodov 2016], pois os comandos são executados de forma sequencial, podendo ser executados mais de um por vez.

Como experiência do trabalho interdisciplinar, a técnica do design de colaboração durante o processo do negócio foi positiva. A partir dela foi possível alinhar o time de modo que cada um realizasse seu papel para a produção do jogo ao mesmo tempo em que a colaboração foi fortalecida, devido as reuniões e os *feedbacks* constantes. Dessa forma, foi possível ter uma boa interação com a equipe e obteve-se um resultado conforme o esperado.

Como contribuição científica, este trabalho aplicou os métodos *CARD*, *Design Sketchboard* e *Kanban* no processo colaborativo da construção de um jogo. Todas essas técnicas se mostraram positivas, pois foi possíveis identificar as funcionalidades e o

modelo do jogo antes de efetuar seu desenvolvimento, evitando um retrabalho. O método CARD foi utilizado para obtenção de uma visão macroscópica do jogo, o método *Design Sketchboard* para obter uma visão detalhada do tabuleiro e o Kanban para se ter um acompanhamento de forma colaborativo de todas as atividades do processo.

Como trabalhos futuros, será realizado um teste em campo com alunos de uma escola estadual entre 9 e 10 anos, afim de validar a construção do tabuleiro. Além disso, espera-se praticar o ensino da programação através do tabuleiro e de sua versão computadorizada, de modo que as crianças aprendam os princípios básicos para a programação de um sistema.

References

- Akuthota, V. (2016). Robot wars board game: Introduce coding to kids. Disponível em: <https://www.indiegogo.com/projects/robot-wars-board-game-introduce-coding-to-kids>.
- Bernardo, K. (2014). Kanban: Do início ao fim. Disponível em: <https://www.culturaagil.com.br/kanban-do-inicio-ao-fim/>.
- Fuks, H., Raposo, A. B., Gerosa, M. A., and de Lucena, C. J. P. (2002). O modelo de colaboração 3c e a engenharia de groupware. Monografias em Ciência da Computação, nº 17/02. Rio de Janeiro: PUC Rio.
- Furnell, J. (2010). Facilitating collaborative design workshops: a step by step guide for rapidly creating a shared vision for execution. Disponível em: <https://jasonfurnell.wordpress.com/2010/12/01/facilitating-collaborative-design-workshops-a-step-by-step-guide-for-rapidly-creating-a-shared-vision-for-execution/>.
- Kholodov, I. (2016). C-jump ski and snowboard race. Disponível em: <http://www.c-jump.com/>.
- Lazowska, E. and Etzioni, O. (2014). So, what is robot turtles? Disponível em: <http://www.robotturtles.com/>.
- Pereira, C. S. and Soares, A. L. (2007). Improving the quality of collaboration requirements for information management through social networks analysis. In *International Journal of Information Management*, volume 27, pages 86–103.
- Preece, J., Rogers, Y., and Sharp, H. (2005). *Design de Interação*. Bookman.
- Santoro, F. M., Iendrike, H., and de Araujo, R. M. (2012). Capítulo 11 - colaboração em processos de negócio. In Pimentel, M. and Fuks, H., editors, *Sistemas Colaborativos*, pages 173 – 185. Elsevier Editora Ltda.
- Tudor, L. G., Muller, M. J., Dayton, T., and Root, R. W. (1993). A participatory design technique for high-level task analysis, critique, and redesign: The card method. In *Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting Proceedings*, volume 37, pages 295–299.

Sistema Colaborativo para Captação de Doadores de Sangue

Arthur O. da Silva¹, Luana L. Rodrigues², Rodrigo R. Oliveira², Rodrigo R. Oliveira³

¹UFSC – Campus Araranguá, ²IFSUL – Campus Sapucaia do Sul, ³UFRGS

o.arthur.oliveira@grad.ufsc.br, luanaleiter@hotmail.com,
remor@sapucaia.ifsul.edu.br, ruasoliveira@inf.ufrgs.br

Abstract. *The shortage of donors in blood centers is a major public health problem in Brazil. To tackle this issue, public servants from blood donation centers and the media are constantly working on campaigns to encourage donation. However, a large part of the population remains passive. In this work, we propose a system to help attract donors and non-donors to blood banks. To do this, the system allows blood centers and general population to create events and content and disseminate them through a mobile application and integration with popular social networks.*

Resumo. *A falta constante de doadores de sangue nos hemocentros é um dos grandes problemas da saúde pública no Brasil. Para tentar reverter esse problema, os servidores dos centros de coleta e as mídias trabalham em campanhas com o intuito de incentivar a doação voluntária. Entretanto, grande parte da população continua passiva. Neste artigo propõe-se um sistema colaborativo que auxilie a aproximar doadores e não doadores dos hemocentros. Para tanto, o sistema permite que os hemocentros e a população criem eventos e conteúdos e divulguem-os por meio de um aplicativo móvel e integração com redes sociais populares.*

1. Introdução

A doação de sangue é um problema de interesse mundial, visto que não há como substituir completamente o tecido sanguíneo [Rodrigues et al. 2011] e este é essencial em diversos procedimentos de saúde, como recuperação de acidentes, operações cirúrgicas e tratamento de enfermidades. Por esse motivo, a Organização Mundial da Saúde (OMS) reconhece o uso do sangue, e seus componentes, como essenciais aos sistemas nacionais de assistência à saúde [OMS 2015].

Apesar da importância, no Brasil os hemocentros enfrentam dificuldades em manter os estoques de bolsas de sangue regulares para suprir as demandas [Rodrigues 2013]. A Organização Mundial da Saúde recomenda que cada país tenha entre 3% a 5% da população como doadores ativos [OMS 2006]. Entretanto, no Brasil, em 2012, o percentual teve uma média geral de 1,9% da população. Para piorar, os estoques dos

hemocentros de todo o país caem em épocas de frio e chuva ou em períodos de férias comuns. A redução média no inverno é de 20% a 25%, podendo chegar a 40% nos estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Rio Grande do Sul [Ministério da Saúde 2014].

Para que se doe mais sangue é necessário educar, informar, motivar e desfazer mitos e crenças [Giacomini 2007, Gutiérrez et al. 2003]. Para tal, os centros de hemoterapia constantemente realizam campanhas a respeito da doação de sangue [Dani 2009], expondo a população a mensagens sobre o tema em diversos meios. Em particular, as tecnologias sociais representam grande potencial para aumentar o impacto da conscientização, uma vez que permitem a transformação de interesses e valores em normas orientadoras do comportamento humano [Fowler e Christakis 2010, Ludwig 2010]. Todavia, as poucas plataformas colaborativas existentes não oferecem aproximação de fato, pois são orientadas apenas a hemocentros ou apenas a doadores, mas não a ambos. É necessário que a população e os hemocentros, principais atores no processo de captação, atuem de forma integrada e colaborativa na geração dessas atividades. Nossa conjectura é que se os hemocentros e a população trabalharem em conjunto na construção de eventos para gerar conscientização, o sistema terá maior abrangência e manutenibilidade. Com isso, a captação e conservação de doadores será potencialmente maior.

Neste artigo, propõe-se desenvolver um sistema para aproximar doadores e não-doadores de centros de hemoterapia por meio de uma rede colaborativa integrada aos hemocentros públicos do Brasil. Essa estratégia é genérica e busca-se a construção de um sistema colaborativo de âmbito nacional. Para cumprir o objetivo geral, o sistema busca oferecer:

- **Acesso à informação.** Desenvolve-se um aplicativo móvel para agilizar e simplificar a busca por informações sobre como se tornar um doador e fornecer respostas para as dúvidas e mitos mais comuns;
- **Colaboração.** Permite-se que doadores e hemocentros criem eventos, tais como: pedidos de doação para indivíduos ou bancos de sangue, alertas de baixa em estoques ou de alta procura, palestras informativas, dentre outros;
- **Divulgação.** Viabiliza-se a integração com Facebook e Twitter para a disseminação de informação, campanhas e eventos, aumentando o número de pessoas envolvidas e informadas. Assim, atinge-se tanto usuários participantes quanto usuários não-participantes e indiretos (aqueles que recebem divulgações mesmo sem utilizar ou possuir vínculo com o sistema);
- **Manutenção.** Visa-se a estimular o uso, manutenção e divulgação da plataforma por meio da liberação da plataforma como código aberto e do emprego de padrões amplamente adotados pela indústria.

2. Trabalhos relacionados

Para identificar critérios de comparação relevantes ao desenvolvimento do sistema, foram realizadas duas visitas em hemocentros da região metropolitana do estado do Rio Grande

do Sul: (1) Hemocentro do Estado do Rio Grande do Sul (HEMORGS) e (2) Serviço de Hemoterapia de Novo Hamburgo (HEMOVIDA). Dois pontos se sobressaíram: a dificuldade na criação e divulgação de ações de incentivo a doação de sangue; e a falta de acesso à informação sobre a doação, por exemplo sobre a localização dos pontos de coleta de sangue e hemocentros da região.

Dessa forma, percebe-se a necessidade de meios que permitam aos hemocentros compartilharem e divulgarem com mais abrangência suas ações de captação de doadores. Em contrapartida, é preciso envolver a população nessas atividades e torná-la mais ativa nesse processo para criar um vínculo de colaboração entre ambos. Também é fundamental educar a população sobre o tema e permitir o acesso às informações relativas ao processo de doação; uma vez que esses são pilares essenciais para a ampliação da captação de doadores [Pinochet 2011, Rodrigues 2013].

Para classificar os sistemas colaborativos atuais baseou-se no modelo 3C [Pimentel et al. 2003]. Esse conhecido modelo considera que a colaboração envolve: comunicação (troca de mensagens), coordenação (gerenciamento de pessoas, atividades e recursos) e cooperação (operações em um espaço compartilhado para execução de tarefas). A classificação considera quatro características essenciais: acesso à informação (Comunicação), auxílio aos hemocentros (Cooperação), colaboração população/hemocentro (Comunicação e Cooperação), gerência e manutenção de ações de incentivo (Coordenação). *Acesso à informação* significa oferecer diversas informações de maneira facilitada, por exemplo, sobre a localização dos centros de doação, campanhas e eventos de coletas móveis. *Auxílio aos hemocentros* compreende facilitar a gerência do hemocentro, oferecendo, por exemplo, controle de intervalo de doações, criação de eventos e coleta de estatísticas. *Colaboração população/hemocentro* consiste em dar liberdade para que hemocentros, doadores, receptores e familiares possam participar mais ativamente do sistema, por exemplo, criando eventos, solicitando doações direcionadas e notificando (doadores) sobre pedido de doação de forma simples e rápida. *Gerência e manutenção de ações de incentivo a doação de sangue* visa permitir, aos hemocentros, controlar o acesso ao sistema e a divulgação dos materiais discutidos anteriormente. Espera-se que, combinando essas quatro características, a comunidade cresça de forma autônoma sem depender de alguns poucos administradores.

A Tabela 1 compara trabalhos relacionados qualitativamente, indicando se os mesmos oferecem (V), não oferecem (N), ou oferecem parcialmente (P) as características essenciais listadas acima.

A maior parte das plataformas disponíveis nesse contexto não oferece qualquer tipo de colaboração, manutenção ou acesso à informação. As poucas plataformas colaborativas existentes são Hemoliga [Rodrigues 2015], Hemogram [Instituto das Cidades Inteligentes 2017] e Hemobile [Underline 2016]. Todos oferecem acesso à informação relacionada a doação de sangue, contudo o Hemogram é o aplicativo que exibe o maior número de informações sobre o processo de doação. Essa plataforma, em particular, possibilita que seus usuários façam pedidos de doação e através de um cadastro

possam receber alertas quando houver a necessidade de doação de sangue conforme o tipo sanguíneo do usuário; porém, não presta auxílio aos hemocentros quanto a criação de campanhas e eventos relativos a doação.

O Hemoliga permite aos usuários acompanhar o estoque atual de sangue em hemocentros que são cadastrados em seu servidor, viabiliza aos centros de coleta a criação de campanhas para doação e possibilita aos usuários a oportunidade de acompanhar campanhas em curso, não oferecendo funcionalidades para a geração de ações de incentivo a doação pelo usuário, como solicitação de doação.

Tabela 1. Comparação de aplicativos relacionados.

CATEGORIA	SUB-CATEGORIA	PLATAFORMAS SEMELHANTES		
		HEMOLIGA	HEMOGRAM	HEMOBILE
COOPERAÇÃO (auxílio aos hemocentros; colaboração população/hemocentro;)	Lembrete de intervalo de doação.	(N)	(V)	(V)
	Permite aos hemocentros divulgar ações de incentivo oficiais.	(V)	(N)	(N)
	Criação de solicitação de doação de sangue.	(N)	(V)	(V)
COMUNICAÇÃO (colaboração população/hemocentro; acesso à informação)	Campanhas.	(P) Somente hemocentros geram campanhas.	(P) Somente usuários geram campanhas.	(P) Somente usuários geram campanhas.
	Lista de hemocentro.	(V)	(N)	(V)
	Mapa com localização dos hemocentros.	(V)	(V)	(V)
	Notificação e compartilhamento via redes sociais.	(N)	(V) Facebook	(V) Facebook e Whatsapp
	Fornece acesso.	(V)	(V)	(V)
COORDENAÇÃO (gerência e manutenção de ações de incentivo)	Cadastro	(V)	(V)	(V)
	Controle de acesso e manutenção dos materiais divulgados	(V)	(N)	(N)

Fonte: desenvolvida pelos autores.

O Hemobile é um aplicativo voltado para a criação de campanhas de doação. Ele permite que os usuários criem suas solicitações e as divulguem para os demais usuários através do compartilhamento destas em redes sociais como o Facebook e o WhatsApp. Além disso, oportuniza a comunicação entre doador e receptor através da criação de grupo de conversa nas campanhas; mas não promove a integração e geração de ações de

incentivo pelos centros de coleta. De forma a restringir esses eventos aos pedidos de doação criadas pelos usuários da plataforma, ou seja, a manutenção do aplicativo se dá pela ação do usuário, excluindo os hemocentros desse processo e não promovendo a divulgação de suas ações.

Dentre os trabalhos relacionados, é possível verificar que nenhum apresenta uma plataforma que permita a criação e manutenção de ações de incentivo a doação de sangue pelos hemocentros em conjunto com a criação desses eventos pelos usuários. Todas elas dispõem somente uma dessas características, ou seja, há uma limitação quanto aos eventos divulgados e compartilhados nesses sistemas. Dessa forma, reforçamos nossa conjectura de que se hemocentros e população atuarem de forma colaborativa, haverá maior potencial para captação e conservação de doadores.

3. O sistema

O sistema proposto utiliza uma plataforma web, um aplicativo mobile e integração com redes sociais para facilitar o acesso, criação e disseminação de conteúdo ligado ao tema. Ele abrange três tipos principais de usuário: servidor de hemocentro, comum (doador ou não-doador) e indireto (que faz uso de redes sociais).

O restante desta seção descreve o sistema de duas formas principais. Primeiro apresenta-se, na Subseção 3.1, uma visão abrangente dos principais componentes e entidades do sistema e as suas possíveis interações. Após, na Subseção 3.2, discute-se os aspectos de implementação de cada componente principal.

3.1. Visão geral da arquitetura do sistema

A Figura 1 resume o sistema. O componente App permite que os usuários acessem todos os eventos criados pelos hemocentros (no componente Web), assim como criar suas próprias solicitações de reposição de sangue. Além disso, é possível registrar suas doações de sangue e optar por receber uma notificação quando estiver apto a doar novamente. O aplicativo também tem o intuito de disponibilizar uma página com informações básicas sobre doação de sangue e um fluxograma sobre a doação para que seja possível sanar dúvidas dos usuários (atualmente fundamentadas em regulamentos, normas e estudos relacionados à captação de sangue [Ministério da Saúde 2016]).

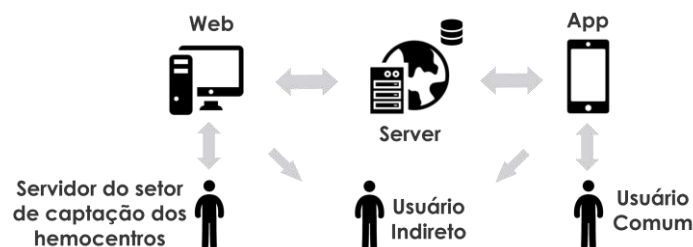


Figura 1. Visão geral do sistema

O componente *Web* é uma ferramenta de gerenciamento de ações de captação. Por isso, os usuários do setor de captação dos hemocentros podem utilizá-lo para criar eventos com as informações necessárias para tal, como localidade e categoria (coleta externa, palestra, campanha). Assim que geradas, essas ocorrências também são notificadas aos usuários do componente *App* e listadas em uma aba de eventos.

O componente *Server* é o responsável pelas principais funcionalidades do sistema. Ele trata as informações recebidas dos outros componentes e as guarda em uma base de dados. Sua principal tarefa é disponibilizar recursos sob forma de serviços para os componentes *Web* e *App*.

Conforme mencionado, o sistema compreende três tipos de usuários: servidor do hemocentro, comum e indireto. O servidor do hemocentro é o administrador do componente *Web*. Ele pode acessar a conta do hemocentro onde atua e criar, modificar e excluir eventos de diversas categorias relacionadas ao tema (campanhas, solicitações, etc). Ele também pode compartilhar os eventos criados nas redes sociais (Twitter e Facebook) que estiverem vinculadas a conta do centro de hemoterapia, oficializando tais campanhas. Todos os eventos criados pelo servidor do setor de captação do hemocentro, são notificados aos usuários que utilizam o aplicativo.

O usuário comum utiliza o componente *App* criando um perfil ou conectando-se via Facebook. No *App*, ele cria e modifica eventos de solicitação de doação de sangue, visualiza os eventos criados por hemocentros e as solicitações de doação criadas por outros usuários e compartilha quaisquer eventos em suas redes sociais vinculadas ao aplicativo. Ele também tem acesso a função reportar doação, onde pode inserir a data da última doação realizada e, assim, receber uma notificação quando estiver apto a doar novamente. Além disso, ele acessa informações sobre a doação de sangue, visualiza um fluxo detalhado sobre o processo de doação e verifica o ponto de coleta mais próximo de acordo com a sua localização.

O usuário indireto é aquele que recebe as informações compartilhadas nas redes sociais (atualmente Facebook e Twitter), tanto pelos servidores dos hemocentros quanto pelos usuários comuns. Dessa forma, o usuário chama-se indireto pois recebe informações sem fazer uso de nenhum componente do sistema, apenas seguindo as páginas do hemocentro em sua rede social de preferência ou através do compartilhamento de eventos realizado pelos amigos de sua rede. Desse modo, a disseminação de informações é atingida por um maior número de pessoas.

3.2. Implementação dos Componentes

O desenvolvimento do sistema foi projetado para ser fácil de manter e expandir. Cada componente foi construído com o uso de Design Patterns conhecidos e possui interfaces para os demais componentes, tornando-os mais independentes. Neste artigo fornecemos

uma visão geral da implementação dos componentes. Para uma descrição mais extensa, acesse o relatório técnico, disponível em <https://goo.gl/kkjz3W>.

O componente *Server* separa acesso ao banco, acesso aos serviços e componentes básicos usando três camadas: Data Access Object (DAO), Services e Plain Old Java Objects (Pojos). DAO generaliza o acesso ao banco, permitindo integração com diferentes sistemas sem a necessidade de adaptar o restante do código. Services generaliza o acesso aos serviços prestados, permitindo que os componentes *App* e *Web* se integrem com facilidade. Pojos compreende funcionalidades comuns que não dependem da herança de interfaces, facilitando a manutenção e tornando suas instâncias “genéricas” para todo o programa.

O componente *App* separa interface com o usuário, controle sobre a execução dos serviços e acesso às informações com quatro camadas: View, Controller, Model e DAO. View captura todas as ações do usuário e interage com Controller. Controller administra as ações do usuário, resolvendo-as localmente ou interagindo com o servidor de acordo com a necessidade. Ele pode também receber informações do servidor via Pushing. Models equivale a camada POJOS do componente *Server*, visto que nela estão todos os componentes básicos. DAO é utilizada por Controller para acessar os dados. Ela abstrai a comunicação com o servidor. Similarmente ao caso do componente *Server*, todas as camadas podem evoluir de forma bastante independente.

O componente *Web* também utiliza o padrão Model-View-Controller (MVC). Assim como em *App*, Model e View fornecem, respectivamente os componentes básicos e a interface com usuário. Controller interpreta as ações do usuário que são enviadas para a Model e/ou para a View, direcionando todo o fluxo de informação passado pelo sistema. Ele também coordena a interação com o componente *Server*, realizada pela interface REST. Com o objetivo de oferecer uma experiência agradável e intuitiva ao usuário, foi utilizado o conceito de Material Design [Google 2014]. Isso permite fornecer uma interface adaptável a celulares, *tablets* e computadores de mesa.

4. Aspectos de avaliação

Para validar o protótipo inicial do sistema, serão realizados estudos de caso com usuários do sistema. Especificamente, pretende-se realizar uma avaliação funcional com o HEMORGS (Hemocentro do Estado do Rio Grande do Sul), o qual demonstrou interesse na utilização da ferramenta e comprometeu-se na realização dos testes do sistema e no suporte à manutenção das informações sobre a doação de sangue. Para isso, pretende-se formalizar um caso de experimentação do sistema com os servidores do setor de captação de doadores do hemocentro, verificando suas satisfações com relação aos seguintes tópicos: avaliação das funcionalidades, avaliação da interface e efeitos do uso do sistema.

Para realizar a avaliação das funcionalidades, cada serviço prestado pelo componente *Web* será listado e avaliado conforme seu desempenho frente às necessidades do hemocentro. Essa avaliação será dada através de um sistema de pontuação, de 0 (não

satisfaz a necessidade) a 5 (satisfaz a necessidade), para cada funcionalidade e um campo para preenchimento de observações.

A avaliação da interface qualificará o processo de comunicação do sistema com o usuário. Neste item será exposto o grau de dificuldade no uso de cada serviço disponível no componente *Web* a partir de um sistema de pontuação de 0 (muito difícil) a 5 (fácil). Dessa forma, será possível qualificar o uso do software e identificar os problemas de interação.

Além disso, serão produzidos questionários a fim de analisar a aceitação do componente *App* a partir dos conceitos de avaliação da interface e avaliação das funcionalidades citadas anteriormente. Para tal, será utilizado o “Modelo de Aceitação de Tecnologia (Technology Acceptance Model - TAM)”. O modelo TAM foi projetado para compreender a relação causal entre variáveis externas de aceitação dos usuários e o uso real do computador, buscando entender o comportamento destes usuários através do conhecimento da utilidade e da facilidade de utilização percebida por eles [Silva et al. 2012]. Em outras palavras, o modelo considera dois aspectos: (1) o desempenho da tecnologia quanto as percepções do usuário; e (2) o esforço que o usuário terá de fazer para usufruir do sistema.

Para avaliar os efeitos do uso do sistema, será analisada a taxa de conversão. Especificamente, serão monitoradas métricas relacionadas a aceitação dos doadores e a qualidade de doadores pré e pós implantação do sistema. Essas medidas serão separadas em três categorias: (1) alcance do compartilhamento de eventos nas redes sociais, (2) conhecimento do doador sobre o sistema e (3) comparação dos registros de doações no aplicativo e no hemocentro. A categoria (1) analisará informações sobre as publicações dos eventos como quantidade de cliques, visualizações e alcance de usuários indiretos através das ferramentas estatísticas das próprias redes. A categoria (2) será realizada através de um questionário no hemocentro a fim de saber como o doador soube da necessidade de doação, se ele conhece o sistema e se utiliza ou passaria a utilizar sabendo de sua existência. Na categoria (3), os registros de doações no aplicativo, no hemocentro, antes e após aplicação do sistema, serão comparados a fim de verificar se o uso do sistema quanto a captação de doadores foi satisfatório.

5. Conclusões e trabalhos futuros

O presente trabalho descreve um sistema projetado para auxiliar na captação de doadores de sangue. Dessa forma, a principal contribuição do trabalho é a proposta de uma plataforma que auxilie a diminuição de um problema relevante na sociedade por meio de uma tecnologia social. As principais funcionalidades oferecidas são o acesso fácil à informações pautadas [Ministério da Saúde 2013, 2016], ampliação dos papéis de usuários e servidores de hemocentros na criação de conteúdo e a disseminação mais abrangente (via redes sociais, permitindo inserção de usuários de forma indireta).

Dentre as melhorias já compreendidas para o aplicativo, visa-se a desenvolver um sistema de reputação e controle de acesso para a criação, aprovação e remoção de eventos. Pretende-se também fazer uma série de testes funcionais com possíveis usuários do aplicativo e usuários do setor de captação do HEMORGS, para que assim seja possível a implantação do sistema no hemocentro do Rio Grande do Sul e, posteriormente, a implantação deste nos centros de coleta pública do Brasil. Como objetivo final, busca-se oferecer a obtenção de um Sistema de auxílio e motivação para doação de sangue que atenda toda a população.

Referências

- Dani, L. (2009). A Doação de Sangue no Contexto do Grupo Hospitalar Conceição. ICITC, Fundação Oswaldo Cruz.
- Fowler, James H., e Christakis, Nicholas A. (2010). Cooperative behavior cascades in human social networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107.12.
- Giacomini, L. (2007). Elementos para a organização do trabalho em hemoterapia com vistas à fidelização do doador voluntário de sangue. Programa de Pós-Graduação em Enfermagem, Universidade Federal do Rio Grande (FURG).
- Google (2014). Material Design. Disponível em: <<https://material.io/guidelines/#>> Acesso em: 04 de mar. 2017.
- Gutiérrez, M. G., TEJADA, E. S., e CRUZ, J. R. (2003). Estudio de factores socioculturales relacionados con la donación voluntaria de sangre en las Américas. *Rev. Panam. Salud Publica*, v. 13, n. 2/3, 2003.
- Instituto das Cidades Inteligentes. (2017). Hemogram. Disponível em: <https://play.google.com/store/apps/details?id=br.org.curitiba.ici.hemogram&hl=pt_BR> Acesso em: 25 de mar. 2016.
- Ludwig, S. (2010). Contribuições para a efetividade da comunicação da doação de sangue a partir de uma abordagem persuasiva. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS).
- Pimentel, M., Gerosa, M. A., Filippo, D., Raposo, A., Fuks, H. e de Lucena, C. J. P. (2006). Modelo 3C de colaboração para desenvolvimento de Sistemas Colaborativos. *Anais do III Simpósio Brasileiro de Sistemas Colaborativos*, pp. 58-67.
- Pinochet, L. (2011). Tendências de Tecnologia de Informação na Gestão da Saúde. *O Mundo da Saúde*, 35(4).
- Rodrigues, A. (2015). Hemoliga. Disponível em: <https://play.google.com/store/apps/details?id=br.com.hemoliga&hl=pt_BR>. Acesso em: 25 mar. 2017.

- Rodrigues, L. L. (2013). Elementos Motivacionais para a Doação de Sangue. Programa de Pós-Graduação em Saúde Coletiva, Universidade de Brasília.
- Rodrigues, R. S. M. e Reybnitz, K. S. (2011). Estratégias de captação de doadores de sangue: uma revisão integrativa da literatura. *Texto & Contexto - Enfermagem*, 20(2)
- Ministério da Saúde (2013). Técnico em hemoterapia: livro texto. Ministério da Saúde, Secretaria de Gestão do Trabalho e da Educação na Saúde, Departamento de Gestão da Educação na Saúde – Brasília: Ministério da Saúde, 2013.
- Ministério da Saúde (2014). Ministério alerta para a redução no estoque de sangue. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/saude/2012/05/ministerio-alerta-para-reducao-no-estoque-de-sangue>>. Acesso em: 11 nov. 2015.
- Ministério da Saúde (2016). Gabinete do Ministro. Portaria 158 de 04 de fevereiro de 2016. Redefine o regulamento técnico de procedimentos hemoterápicos. *Diário Oficial da União; Poder Executivo*, de 05 de fevereiro de 2016. Seção 1, p. 37
- Silva Junior, J. B., Costa, C. S. e Baccara, J. P. A. (2015). Regulação de sangue no Brasil: contextualização para o aperfeiçoamento. *Rev Panam Salud Publica*, 38(4)
- Silva, P. C., Pimentel, V. e Soares, J. (2012). A utilização do computador na educação: aplicando o technology acceptance model (TAM). *Biblionline*, 8(esp)
- Underline. (2016). Hemobile. Disponível em: <<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.hemobile&hl=pt>>. Acesso em: 25 mar. 2017.
- World Health Organization (WHO) (2015). Model lists of essential medicines. WHO. Disponível em: <<http://www.who.int/medicines/publications/essentialmedicines/en/>> Acesso em: 04 de abr. 2017.
- World Health Organization (WHO) (2006). Blood safety and donation. WHO. Disponível em: <http://www.who.int/bloodsafety/global_database/GDBSFactSheet%20.pdf> Acesso em: 06 de abr. 2017.

Um Método de Agrupamento Incremental para a Detecção de Eventos em Redes Sociais

Alice A. F. Menezes¹, Carlos M. S. Figueiredo^{2,3}

¹Universidade Federal do Amazonas (UFAM) – Manaus, AM – Brasil

²Universidade do Estado do Amazonas (UEA) – Manaus, AM – Brasil

³Samsung Ocean – Manaus, AM – Brasil

alice.menezes@icomp.ufam.edu.br, cfigueiredo@uea.edu.br

Abstract. *Studying useful information that are provided by users of social networks is the aim of Social Sensing. Several works in literature present studies with applications in natural disaster detection, traffic monitoring or analyzing dynamic of cities. Such studies normally apply mining and machine learning techniques in previously collected databases for analysis, which are not proper due to real-time nature of posts in social networks. In this paper, we present a method to detect events based on incremental clustering, which proves to be more efficient in terms of processing time and delay over the traditional one. As case study, we detected and analyzed traffic accidents data of New York city, which are events that occurs daily.*

Resumo. *Estudar as informações úteis que são fornecidas pelos usuários de redes sociais é o objetivo do Sensoriamento Social. Diversos trabalhos na literatura apresentam estudos com aplicações de detecção de desastres naturais, monitoramento do trânsito ou análise da dinâmica das cidades. Estes estudos normalmente aplicam técnicas de mineração de dados e aprendizagem de máquina para a análise de dados previamente coletados, o que não é adequado devido à natureza em tempo real das postagens em redes sociais. Neste artigo, apresentamos um método para a detecção de eventos que utiliza agrupamento incremental, o que se revela mais eficiente em termos de tempo de processamento do que a abordagem tradicional. Como estudo de caso, detectamos e analisamos dados de acidentes de trânsito da cidade de Nova Iorque, que são eventos que ocorrem diariamente.*

1. Introdução

Nos dias atuais, redes sociais como o Twitter¹, Facebook², Foursquare³ e Instagram⁴, tornaram-se ferramentas importantes para que pessoas possam compartilhar informações relacionadas ao contexto no qual estão inseridas (negócios, ocorrências diárias, vida pessoal e notícias) [Becker et al. 2011]. Devido a isto, o Sensoriamento Social, uma nova área de pesquisa, emergiu.

¹<https://twitter.com>

²<https://facebook.com>

³<https://foursquare.com>

⁴<https://instagram.com>

O Sensoriamento Social utiliza informações disponíveis em redes sociais, que podem ser coletadas e analisadas para a detecção de eventos relevantes em uma área habitacional [Silva et al. 2014]. Neste sentido, trabalhos recentes buscam processar as informações de *stream* do Twitter para a detecção de notícias [Sankaranarayanan et al. 2009, Phuvipadawat and Murata 2010], descoberta de eventos desconhecidos [Becker et al. 2011, Li et al. 2012] e detecção de eventos específicos, como terremotos e trânsito [Sakaki et al. 2010, Nguyen et al. 2016].

As soluções nesta área devem considerar limitações como confiabilidade das informações e dados não estruturados com ruídos ou redundantes [Sakaki et al. 2010]. Desta forma, é comum utilizar técnicas de aprendizagem de máquina tanto no segmento supervisionado quanto não-supervisionado para a análise das informações. Particularmente, técnicas de agrupamento são comumente aplicadas para a detecção de eventos, pois resolvem o problema de redundância dos dados através do agrupamento de informações semelhantes relacionadas ao mesmo evento.

Trabalhos na literatura normalmente utilizam métodos para o processamento e análise de uma grande massa de dados de redes sociais. O problema é que os dados destas redes são dinâmicos, de forma que as informações podem ser publicadas por diversos usuários a qualquer momento e em diferentes formatos. Por exemplo, na detecção de acidentes de trânsito, os usuários podem reportar os eventos conforme passam na mesma área da ocorrência e de acordo com o impacto do mesmo. Assim, com o objetivo de capturar eventos, estes trabalhos vão sacrificar o tempo de detecção do evento para esperar até que uma quantidade significativa de dados possa ser processada. Outra possibilidade é que ocorra alta demanda de processamento devido à utilização sucessiva dos algoritmos, conforme a atualização da base de dados.

Neste contexto, a principal contribuição deste trabalho é a utilização de um algoritmo de agrupamento incremental, que é viável de ser utilizado no cenário de tempo real das redes sociais, em contraposição aos métodos estáticos tradicionais. Além disso, o método proposto diferencia-se de trabalhos anteriores por permitir a detecção de diferentes ocorrências de um evento relacionado ao mesmo assunto, em vez de agrupar os dados sociais em diferentes categorias (exemplo: notícias e tendências de tópicos). Também realizamos um estudo de caso relacionado a detecção de ocorrências de acidentes de trânsito e apresentamos uma similaridade de 90%, enquanto reduzimos o tempo de processamento dos dados.

2. Trabalhos Relacionados

Uma das áreas relacionadas ao Sensoriamento Social é a detecção de eventos, que estuda os fenômenos do mundo real reportados por meio de usuários de redes sociais e que contém informação espaço-temporal [Valkanas and Gunopulos 2013].

As redes sociais tornaram-se uma importante fonte de informação para estudar os aspectos do contexto dos usuários. O Twitter é a rede social utilizada nos trabalhos apresentados nesta seção. Os trabalhos que utilizam esta rede social para obter informações estão relacionados com processamento de dados massivos, providos por *tweets* e *retweets* de usuários em tempo real [Atefeh and Khreich 2015, Li et al. 2012].

Neste sentido, alguns estudos realizam agrupamento de dados para detectar eventos não especificados, como notícias recentes [Sankaranarayanan et al. 2009] ou situações

de desastre natural [Toriumi and Baba 2016]. Outros estudos utilizam a abordagem de agrupamento para diferenciar eventos do mundo real de mensagens não relacionadas a eventos [Becker et al. 2011].

[Sankaranarayanan et al. 2009] propôs um sistema chamado *TwitterStand*, que captura *tweets* relacionados a notícias recentes. Na solução, um classificador baseado em Naive Bayes é responsável por separar notícias de outras informações. Em seguida, um algoritmo de agrupamento forma *clusters* de notícias utilizando *hashtags* para reduzir erros de agrupamento. [Phuvipadawat and Murata 2010] apresentam um método para o rastreamento de notícias recentes do Twitter utilizando palavras-chave em na coleta dos dados. Em seguida, mensagens com termos similares, *hashtags* e nomes de usuários são agrupados. A solução considera o número de seguidores e o número de *retweets* para ranqueamento dos *clusters*. [Becker et al. 2011] propuseram uma técnica de agrupamento em redes sociais que assimila *tweets* através do TF-IDF. Posteriormente, os *clusters* são classificados em eventos do mundo real e não-eventos através de um algoritmo de *Support Vector Machine* (SVM).

Existem também estudos que analisam apenas um tipo de evento utilizando aprendizagem supervisionada. Nestes estudos, é necessário que informações preliminares sobre os eventos sejam disponibilizadas. Além disso, se o tipo de evento mudar, novas informações devem ser adquiridas para a solução.

[Sakaki et al. 2010] propuseram um modelo para detectar um tipo específico de evento. Os autores treinaram um algoritmo de SVM através de dados do Twitter rotulados manualmente com informações de terremotos e tufões. Em seguida, estimaram a trajetória dos tufões aplicando Filtros de Kalman e Filtros de Partícula. [Nguyen et al. 2016] apresentaram um sistema chamado *TrafficWatch*, que coleta, filtra e analisa *tweets* relacionados a incidentes na Austrália. O objetivo era utilizar as redes sociais como um canal adicional de monitoramento do trânsito e gerenciador de incidentes. Para isto, os autores aplicaram processamento de linguagem natural para extrair informações dos *tweets*. Em seguida, foram utilizados os algoritmos de SVM e Árvores de Decisão para definir eventos relevantes e não relevantes.

Neste trabalho, propomos um método genérico para a detecção de eventos específicos em redes sociais. Diferente dos trabalhos citados nesta seção, utilizamos um algoritmo incremental de aprendizagem não-supervisionada para processar os dados de acordo com a natureza de tempo real da rede social Twitter. O objetivo é melhorar a eficiência no processamento de informações, atualizando apenas os dados pertinentes a cada nova informação recebida da rede social.

3. Método proposto

Para a detecção de eventos, propomos um método que utiliza um algoritmo de agrupamento incremental para processamento de *streams* de dados provenientes de redes sociais (Figura 1). Esta abordagem é viável em relação a tradicional, pois apenas uma parte específica da base de dados é processada de acordo com a publicação de novas informações nas redes sociais e com o funcionamento do modelo *Sliding Window*. Além disso, esta abordagem permite a detecção de diferentes ocorrências relacionadas ao mesmo evento em estudo, mesmo que este aconteça em locais e horários aproximados.

Primeiramente, é realizada a coleta e filtragem dos dados por meio de palavras-

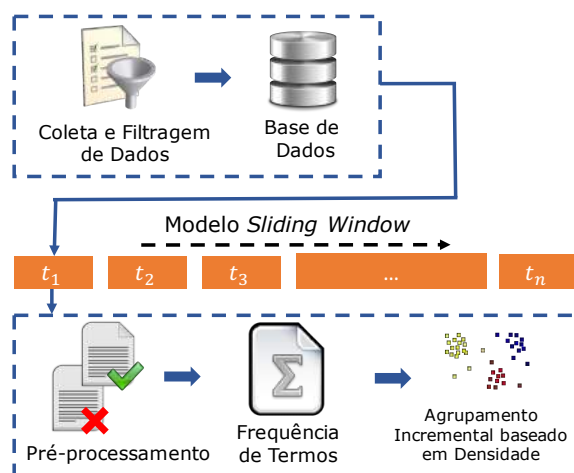


Figura 1. Método proposto para agrupar dados similares em *streams* de redes sociais.

chave relacionados ao tópico em análise. No caso deste trabalho, as palavras-chave são referentes ao estudo de caso de acidentes de trânsito na cidade de Nova Iorque, como por exemplo “*accident*”, “*car*”, “*injury*” e assim por diante. A coleta de dados é realizada através do mecanismo de busca da API da rede social Twitter ou *Web Crawlers*, resultando em dados massivos de texto que aumentam constantemente. A seguir, a filtragem dos dados é realizada, o que é importante devido os dados de redes sociais possuírem ruídos como gírias e aglutinações [Sankaranarayanan et al. 2009, Sakaki et al. 2010].

Após a remoção dos ruídos, é realizada a extração de características dos *tweets*. Apesar de ser possível coletar dados como imagens, fotos de usuários e geolocalização de locais, a maioria das informações provenientes de redes sociais são em forma de texto. Assim, nós extraímos apenas os dados de texto das ocorrências coletadas e aplicamos um algoritmo para determinar a frequência dos termos na extração de características. Assim, os termos mais relevantes para o algoritmo não-supervisionado recebem um peso maior do que os não relevantes.

Por fim, aplicamos o algoritmo de agrupamento incremental para processar apenas novos dados que são adicionados à base, além dos dados que são afetados por esta atualização. Desta forma, o tempo de agrupamento de novas informações reduz, tornando possível a utilização do método para *streams* de dados em constante mudança.

4. Agrupamento Incremental

O processo do algoritmo de agrupamento incremental (Algoritmo 1) é baseado em densidade e consiste em verificar a distância entre os dados e unificar dados próximos. A distância máxima entre dois dados está presente na variável *eps-neighborhood*.

Quando os *clusters* são formados, os dados que não pertencem a nenhum *cluster* são considerados ruídos pelo algoritmo. Em outras palavras, o algoritmo verifica a densidade dos *clusters*. Os de alta densidade são considerados informações de um mesmo evento, enquanto os de baixa densidade são considerados ruídos. Esta característica do algoritmo faz com que o mesmo torne-se viável para ser utilizado na abordagem de Sensoriamento Social, dado que as informações podem conter palavras-chave relacionadas ao estudo de caso, mas podem não pertencer a um evento.

No algoritmo, o *eps-neighborhood* de um dado p , denotado por $N_{Eps}(p)$ é definido $N_{Eps}(p) = \{q \in D \mid dist(p, q) \leq Eps\}$, onde D é a base de dados. Além disso, o algoritmo precisa que para cada dado p em um *cluster* C exista um dado q em C , de forma que a distância entre p e q seja menor que o *eps-neighborhood* e que $N_{Eps}(q)$ contenha no mínimo *MinPts* dados.

Basicamente, nós inserimos um conjunto de novos dados em uma base de dados previamente agrupada. Devido à natureza de densidade do algoritmo, a atualização influencia apenas dados próximos. Neste processo, dados classificados como ruídos em um agrupamento prévio, podem passar a ser considerados informações, devido às mudanças nos centróides dos *clusters*.

Em nossa solução, aplicamos os conceitos de algoritmo incremental baseado em densidade na biblioteca *Scikit-Learn*⁵, modificando a implementação do algoritmo DBSCAN⁶ [Ester et al. 1996] seguindo os passos apresentados no Algoritmo 1. Basicamente, inserimos um conjunto de novos dados em uma base previamente agrupada. Em seguida, atualizamos os *clusters* mais próximos aos novos dados. Neste processo, dados classificados como ruídos podem ser classificados como informações de um mesmo evento devido à mudança dos centróides. Ressaltamos que em nossa abordagem outros algoritmos de agrupamento podem ser utilizados, como o BIRCH [Zhang et al. 1996], desde que sejam adaptados para serem incrementais.

Algoritmo 1 Algoritmo de Agrupamento Incremental

```

1: Entrada: Conjunto de novos dados,  $eps$ ,  $MinPts$ 
2: Saída: Lista de clusters atualizada
3:  $D \leftarrow$  Novos dados
4:  $C \leftarrow$  Lista de clusters
5: para cada novo dado  $d_i$  em  $D$  faça
6:   Insere  $d_i$  na base
7:   se para cada centróide  $dist(\text{centróide}, d_i) \leq eps$  então
8:     Atualiza centróide
9:   fim se
10:  Atualiza clusters em  $C$ 
11: fim para
12: para cada cluster atualizado  $c_i$  em  $C$  faça
13:   se  $|N_{Eps}(\text{dado central em } c_i)| \leq MinPts$  então
14:     Define  $c_i$  como um cluster válido
15:   senão
16:     Define  $c_i$  como ruído
17:   fim se
18: fim para

```

⁵<http://scikit-learn.org/>

⁶<http://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.cluster.DBSCAN.html>

5. Experimentos e Resultados

Nesta seção, descrevemos os experimentos, resultados e avaliações do algoritmo de agrupamento incremental para a detecção de eventos. Também apresentamos um estudo de caso em que aplicamos a solução proposta para a identificação e contagem de eventos relacionados a acidentes de trânsito.

5.1. Descrição dos Dados

Para estudo de caso e validação do método, coletamos 135.078 *tweets* de março de 2015 a setembro de 2016, relacionados a acidentes de trânsito na cidade de Nova Iorque.

Conforme apresentado na Figura 2, informações coletadas de redes sociais possuem diferentes formatos e características. No Twitter, enquanto os *tweets* de usuários comuns não possuem um padrão, *tweets* de canais de notícia possuem sempre a mesma formatação, na qual são reportados o local (regiões e rotas) e o tipo de ocorrência. Em decorrência disso, diversas soluções utilizam apenas os dados provenientes de canais de notícia para a detecção de eventos [Albuquerque et al. 2015].



Figura 2. Exemplos de *tweets* relacionados a acidentes de trânsito.

Para a solução proposta, *tweets* de canais de notícia são mais relevantes do que os *tweets* de usuários comuns, devido à etapa de cálculo da frequência dos termos. Na Tabela 1, apresentamos um exemplo do grau de importância de alguns termos. De maneira geral, termos relacionados aos nomes das vias são considerados os mais relevantes, enquanto termos comuns são considerados menos relevantes. Na Tabela 1, por exemplo, verificamos que as rotas interestaduais, como a I-287, e avenidas são consideradas relevantes para o algoritmo. Desta forma, sabemos que as vias são as características mais importantes para o algoritmo de agrupamento incremental.

Termos relevantes	Frequência de Termos	Termos não relevantes	Frequência de Termos
I-287	4.9512	EB (Eastbound)	2.1180
I-495	4.9512	Blocked	2.3486
8th (Ave)	4.9512	Street	2.3486
Route-24	4.9512	Lane	2.4663
14th (Ave)	4.9512	SB (Southbound)	2.5089

Tabela 1. Relevância dos termos presentes nos dados de acidentes de trânsito do Twitter por meio de frequência de termos.

Antes de aplicar o algoritmo que calcula a frequência dos termos, realizamos algumas modificações nos dados, como a remoção de *stop words*.

5.2. Avaliação de similaridade

Com o objetivo de avaliar a similaridade do algoritmo de agrupamento, realizamos o agrupamento manual de uma amostra da base de dados com 3.410 *tweets* de 27/01/2016 a 21/02/2016). Desta forma, foi possível comparar os agrupamento por dia e hora.

Na Tabela 2, apresentamos um exemplo de ocorrência de acidente de trânsito em que os dados foram agrupados manualmente no mesmo *cluster*. No processo de agrupamento manual, consideramos certas características, como as regiões, vias e horário da ocorrência reportada.

Hora	Ocorrências agrupadas
15:20	Accident in #TheBronx:OnTheDeeganExpwy on I-87 NB at W 230th St
16:30	Major accident on I-87 N #NYCTraffic
16:41	Accident in #TheBronx:OnTheDeeganExpwy on I-87 NB between W 230th St and Van Cortlandt Park S
17:01	Major accident on I-87 N #NYCTraffic
17:23	Accident in #TheBronx:OnTheDeeganExpwy on I-87 NB between W 230th St and Van Cortlandt Park S
17:31	Accident on I-87 N #NYCTraffic

Tabela 2. Exemplo de dados sociais agrupados relacionados à mesma ocorrência de evento de acidente de trânsito.

Durante este processo, verificamos que os informes de acidentes eram relacionados com vias expressas e avenidas. Além disso, verificamos que o maior número de informes ocorria na hora do *rush*. Isto pode ser explicado pelo fato de que usuários geralmente reportam eventos em redes sociais que são importantes ou tem impacto em seu contexto. Desta forma, acidentes de trânsito que ocorrem nas vias mais utilizadas e em horários de pico, tendem a ser mais impactantes do que outros acidentes.

Na Figura 3, apresentamos a comparação de ocorrências de acidentes de trânsito entre o agrupamento manual e o agrupamento incremental. Com o objetivo de comparar os agrupamentos, aplicamos a métrica *V-Measure*, obtendo 90% de similaridade.

Após a comparação, analisamos em diferentes períodos do dia o tempo médio utilizado pelo algoritmo para que os *clusters* sejam formados (Figura 4). Basicamente, estes tempos médios são obtidos pela diferença de tempo entre a primeira notificação do acidente, geralmente considerada um ruído por ser diferente dos demais, até a formação do *cluster*. Assim, verificamos que eventos de alto impacto, que em sua maioria ocorrem em horários de pico, são formados em menor tempo que os demais eventos de acidentes de trânsito.

Para exemplificar a formação de um *cluster* ao longo do tempo, apresentamos a Figura 5, em que dividimos a formação em 3 etapas, de forma que cada *cluster* é repre-

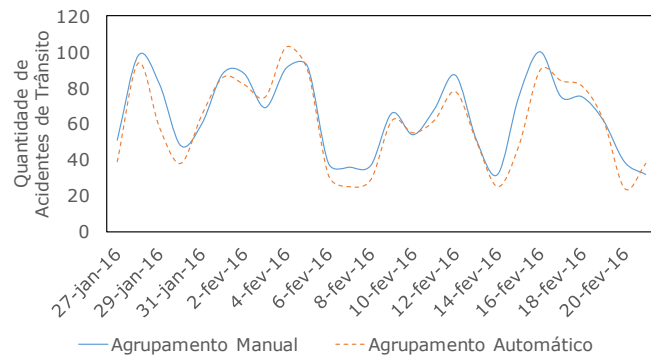


Figura 3. Comparação das ocorrências de acidentes de trânsito identificadas no agrupamento incremental e no agrupamento manual.

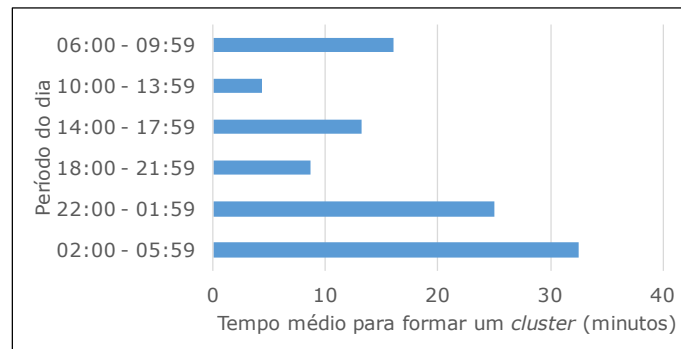


Figura 4. Tempo médio de formação dos clusters em diferentes períodos do dia.

sentado por uma cor diferente. Já os dados considerados ruídos são representados por pequenos pontos pretos. Nas Figuras 5(a) e 5(b) é possível verificar o momento em que o algoritmo converte dados considerados ruídos (círculo azul pontilhado), em um *cluster* que representa uma ocorrência de acidente de trânsito após a inserção de novos dados na base. No entanto, verificamos que em alguns casos o dado permanece como ruído mesmo com a inserção de novos dados (círculo vermelho pontilhado), o que ocorre devido à falta de similaridade destes com os demais dados da base (Figura 5(c)).

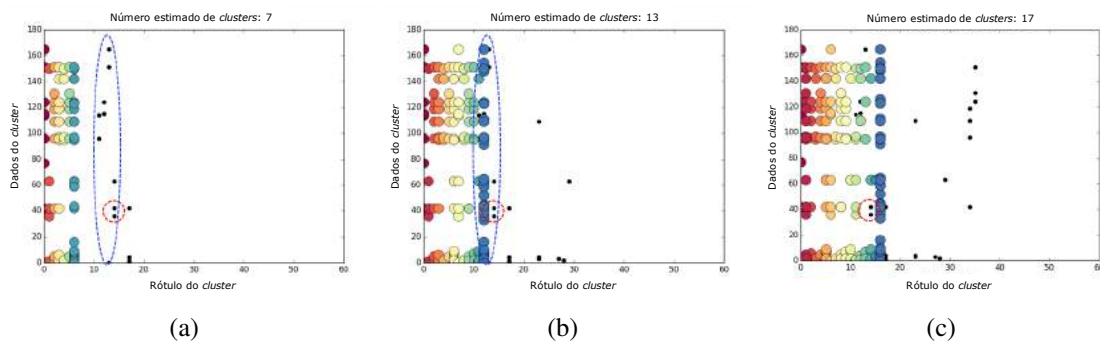


Figura 5. Exemplo de como ocorre a formação de clusters ao longo do tempo utilizando o método proposto.

5.3. Avaliação do tempo de execução

Para avaliar o tempo de execução do algoritmo, aplicamos tanto a abordagem incremental quanto a abordagem estática no estudo de caso de detecção de acidentes de trânsito. Cada vez que havia inserção de novos dados, o algoritmo de agrupamento estático processava todos os dados da base, enquanto que o algoritmo de agrupamento incremental processava apenas os novos dados e os dados da base afetados pela inserção.

Conforme apresentado na Figura 6, este comportamento impactou no tempo de execução, de forma que, com 135.078 *tweets* na base, o algoritmo de agrupamento incremental executava cerca de 4 vezes mais rápido que o estático. Desta forma, verificamos que para abordagens relacionadas às redes sociais utilizar algoritmos tradicionais é custoso, sendo necessária uma abordagem incremental.

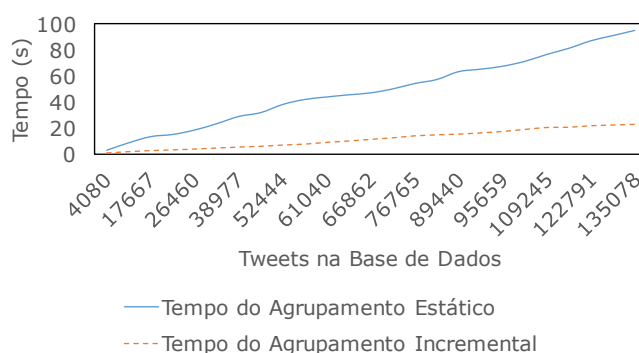


Figura 6. Comparação entre o tempo de agrupamento das abordagens incremental e estática.

6. Conclusão e Trabalhos Futuros

Neste trabalho, investigamos o processo de detecção de eventos em tempo real nas redes sociais através de uma abordagem de agrupamento incremental. Na solução proposta, consideramos cada usuário da rede social Twitter como um sensor que compartilha dados contextuais voluntariamente.

Todos os dados coletados foram filtrados para evitar o máximo de ruídos. As características dos textos presentes nos dados foram extraídas através de um algoritmo que calcula a frequência dos termos. Em seguida, um algoritmo de agrupamento incremental foi aplicado na base de dados de acordo com a inserção de novos dados. Como estudo de caso, executamos a solução proposta em uma base de dados do Twitter para a detecção de acidentes de trânsito, que possuem relevância social devido aos danos e mortes causados por eles. Nossa solução obteve 90% de similaridade e tempo de processamento cerca de 4 vezes mais rápido que a abordagem tradicional.

Como trabalhos futuros, planejamos comparar nossa técnica de agrupamento incremental com outras técnicas da literatura, além de analisar outras bases de dados de redes sociais com diferentes características, com o objetivo de avaliar a performance do algoritmo de agrupamento incremental para a detecção de outros eventos.

7. Agradecimentos

Parte dos resultados apresentados nessa publicação foram obtidos por meio de atividades de Pesquisa e Desenvolvimento do projeto SAMSUNG OCEAN, patrocinado pela Sam-

sung Eletrônica da Amazônia Ltda., apoiado pela SUFRAMA sob os termos da lei federal Nº 8.248/91.

8. Referências

- Albuquerque, F. C., Casanova, M. A., Lopes, H., Redlich, L. R., de Macedo, J. A. F., Lemos, M., de Carvalho, M. T. M., and Renso, C. (2015). A methodology for traffic-related twitter messages interpretation. *Computers in Industry*.
- Atefeh, F. and Khreich, W. (2015). A survey of techniques for event detection in twitter. *Comput. Intell.*, 31(1):132–164.
- Becker, H., Naaman, M., and Gravano, L. (2011). Beyond trending topics: Real-world event identification on twitter. In *International Conference on Weblogs and Social Media*. AAAI.
- Ester, M., Kriegel, H.-P., Sander, J., and Xu, X. (1996). A density-based algorithm for discovering clusters in large spatial databases with noise. In *Kdd*, volume 96, pages 226–231.
- Li, R., Lei, K. H., Khadiwala, R., and Chang, K. C.-C. (2012). Tedas: A twitter-based event detection and analysis system. In *International Conference on Data Engineering (ICDE)*, pages 1273–1276. IEEE.
- Nguyen, H., Liu, W., Rivera, P., and Chen, F. (2016). Trafficwatch: Real-time traffic incident detection and monitoring using social media. In *Pacific-Asia Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, pages 540–551. Springer.
- Phuvipadawat, S. and Murata, T. (2010). Breaking news detection and tracking in twitter. In *International Conference on Web Intelligence and Intelligent Agent Technology (WI-IAT)*, volume 3, pages 120–123. IEEE.
- Sakaki, T., Okazaki, M., and Matsuo, Y. (2010). Earthquake shakes twitter users: real-time event detection by social sensors. In *Proceedings of the 19th international conference on World wide web*, pages 851–860. ACM.
- Sankaranarayanan, J., Samet, H., Teitler, B. E., Lieberman, M. D., and Sperling, J. (2009). Twitterstand: news in tweets. In *Proceedings of the 17th acm sigspatial international conference on advances in geographic information systems*, pages 42–51. ACM.
- Silva, T. H., Vaz de Melo, P. O., Almeida, J. M., Salles, J., and Loureiro, A. A. (2014). Revealing the city that we cannot see. *ACM Transactions on Internet Technology (TOIT)*, 14(4):26.
- Toriumi, F. and Baba, S. (2016). Real-time tweet classification in disaster situation. In *Proceedings of the 25th International Conference Companion on World Wide Web*, pages 117–118. International World Wide Web Conferences Steering Committee.
- Valkanas, G. and Gunopulos, D. (2013). How the live web feels about events. In *Proceedings of the 22nd ACM International Conference on Information & Knowledge Management*, pages 639–648. ACM.
- Zhang, T., Ramakrishnan, R., and Livny, M. (1996). Birch: an efficient data clustering method for very large databases. In *ACM Sigmod Record*, volume 25, pages 103–114. ACM.

wIntolerance – Uma plataforma para integração de pessoas com restrições alimentares

Leonardo Braga Genuino¹, Hedo Ecker da Silva Júnior¹, Rodrigo Remor Oliveira¹

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense (IFSul)
93.216-9120 – Sapucaia do Sul– RS – Brasil

{leonardobgenuino,hedojunior}@gmail.com,
remor@sapucaia.ifsul.edu.br.br

Resumo. *Este artigo descreve o wIntolerance, um projeto que visa prestar assistência às pessoas que sofrem de restrições alimentares, visto que somente no Brasil, cerca de 10 milhões de pessoas sofrem com este problema. wIntolerance é uma plataforma colaborativa que permite os usuários trocarem receitas que atendam às suas restrições alimentares, assim como avaliarem de maneira detalhada elas. Além disso, possibilita que os usuários encontrem e avaliem restaurantes que fornecem pratos específicos para essas pessoas. Com o projeto pretende-se divulgar e auxiliar milhões de pessoas que sofrem com este tipo de problema.*

Abstract. *This article describes [APPLICATION NAME], a project that aims to give assistance to people that suffers from alimentary restrictions, since only in Brazil, about 10 million people suffers from this kind of problem. [APPLICATION NAME] is a collaborative platform that allows the users to exchange recipes that caters to their alimentary restrictions, as well as make detailed evaluations of those. Besides that, is possible that the users find and rate restaurants that offers specific plates. The project aims to publicize and help millions of people who suffer from this type of problem.*

1.

Introdução

Os conceitos de computação ubíqua estão cada vez mais presentes na sociedade, por meio da popularização dos dispositivos móveis e dos avanços científico-tecnológicos [Satyanarayanan 2001]. Dispositivos como smartphones e tablets fazem parte do cotidiano de um número cada vez maior de pessoas, acompanhando-as em sua rotina, tais dispositivos são capazes de coletar e monitorar informações acerca das atividades que seu usuário faz. Então, a computação ubíqua [Weiser 1991] alinhada com o constante uso de dispositivos móveis abre espaço para a exploração de novas aplicações da computação ubíqua, aplicando ela no cotidiano do usuário. Nesse âmbito, os *Location Based Services* (LBS) são serviços que integram a localização ou posição do dispositivo móvel com outras informações para prover valores adicionais ao usuário [Spiekermann 2004], podendo ser utilizado em diversos tipos de aplicações, como redes sociais e jogos.

Muitas pessoas ainda desconhecem a diferença entre intolerância e alergia alimentar. As reações alérgicas ocorrem quando o sistema imunológico reconhece um alimento que contém uma substância que possa fazer mal ao indivíduo [Nunes 2012]. Nesses casos, o corpo tende a dar uma resposta imunológica mais rápida, que pode variar de 15 minutos até 48 horas [Gasparin, F. et al., 2010]. De 15 minutos até 6

horas após a ingestão do alimento, um intolerante à lactose, por exemplo, pode ter sintomas como urticária, vermelhidão na pele e diarreia [Vieira 2004, Barros 2012]. E, em casos de alergia muito grave à certo alimento, a ingestão do mesmo pode causar dificuldades respiratórias, diminuição da pressão arterial e do oxigênio cerebral, podendo levar a vítima à morte [Filho 2014], sendo que, entre 100 e 125 pessoas morrem por ano nos Estados Unidos em decorrência de uma alergia alimentar [Sanz 2001]. Em uma manifestação mais tardia, os sintomas podem aparecer como cólicas, dores abdominais, assim como no aumento na quantidade de fezes e alguns problemas respiratórios.

Pessoas com restrições alimentares sofrem cada dia mais com a falta de acessibilidade [Porto, C. et al., 2005] quanto à sua alimentação [Tumas 2008], seja pela falta de opções de alimentos alternativos, pelo difícil preparo de alimentos alternativos, ou pela falta de cuidado e conhecimento sobre a área por parte de terceiros. Quando se trata de crianças, o problema se torna ainda mais grave [Bricks 1994], visto que elas, muitas vezes, não têm o conhecimento da intolerância ou alergia que sofrem, ou então de quais alimentos devem comer, evitar, dentre outras complicações. De acordo com METZ e BURKS (2009), aproximadamente 6% das crianças em grupos de 0 a 5 anos de idade sofrem de alguma alergia ou intolerância alimentar. Se a restrição não for diagnosticada desde cedo, os alérgenos poderão trazer consequências graves a curto prazo, em casos de alergias, ou a longo prazo, em casos de intolerâncias. Dada a falta de interligação entre estabelecimentos e clientes, o crescente número de intolerantes e alérgicos [Pérez-Machado, M. et al., 2003], e as dificuldades que permeiam o dia a dia destes, fica clara a necessidade de algo que possibilite a conexão entre todo o grupo de pessoas com restrições alimentares e restaurantes e demais estabelecimentos que atendem esse público. Surge assim o seguinte questionamento: como prover acessibilidade para pessoas com restrições alimentares de uma maneira ágil, precisa e objetiva?

O presente trabalho apresenta uma plataforma colaborativa de integração e ajuda mútua entre pessoas com restrições alimentares. A plataforma, denominada wIntolerance, possui os seguintes objetivos:

Colaboração:

- Permitir que usuários cadastrem receitas de acordo com suas restrições alimentares, para que outros usuários possam avaliar essa receita, deste modo, contribuindo para a construção da comunidade da plataforma;
- Se tornar uma “vitrine” para que proprietários de restaurantes que atendem pessoas com restrições alimentares, onde eles poderão cadastrar seus estabelecimentos e serem avaliados.

Facilidade:

- Fornecer uma ferramenta de pesquisas de forma rápida e intuitiva, onde os usuários aprendam a utilizar a funcionalidade rapidamente;
- Utilizar a localização do usuário para exibir os restaurantes na proximidade que se encaixam no seu perfil;
- Facilitar a avaliação de receitas e restaurantes para fornecer mais comodidade aos usuários.

2. Trabalhos relacionados

Entre os trabalhos estudados, encontram-se diversos projetos que envolvem pessoas com restrições alimentares, porém nenhum deles realmente realiza uma conexão entre

peças com restrições alimentares com restaurantes, e com outras pessoas de uma forma colaborativa. Deste modo, para a comparação entre os trabalhos estudados, foi utilizado o Modelo 3C's de Colaboração (Comunicação, Cooperação e Coordenação) [Pimentel, M. et al., 2006]. Para classificar foram levados em conta quesitos que poderiam ser encaixados em um ou mais dos 3C's. *Avaliação no app* (Cooperação e Comunicação) avalia se a plataforma permite aos usuários avaliarem seus itens, *Abrangência* (Coordenação) considera a gama de restrições que o aplicativo fornece apoio, *Comunicação entre usuários* (Comunicação e Cooperação), *Receitas* (Coordenação), *Estabelecimentos* (Coordenação), *LBS* (Coordenação) leva em conta se o aplicativo utiliza ou não os conceitos de *Location Based Services*.

Quadro 1. Comparação entre trabalhos relacionados.

	My Holy Food	Safe Food	<u>Celiaquitos</u>	Achei sem Glúten
Avaliações no app	Avaliação 5 estrelas + comentários		Avaliação 5 estrelas + comentários	
Abrangência	Glúten Vegan Carboidrato Açúcar Lactose	Vegan Lactose Glúten	Glúten	Glúten
Comunicação entre usuários			<u>Forúm de Usuários</u>	
Receitas		X		
Estabelecimentos	Restaurantes		Restaurantes	Restaurantes Lojas
LBS	X		X	X

Como pode ser visto no Quadro 1, o MyHolyFood possui avaliações com comentários e fornece informações acerca do item avaliado para a comunidade. O MyHolyFood tem o diferencial de apresentar restaurantes que oferecem pratos com pouco açúcar e carboidratos. Em contrapartida, o Achei Sem Glúten é o menos completo deles, prestando suporte apenas a pessoas com restrições relacionados ao glúten, tendo como único diferencial a disponibilidade de acesso a lojas e não apenas a restaurante, como as demais plataformas.

O único que apresenta interações colaborativas é o Celiaquitos. Na plataforma, existe um fórum moderadamente ativo de usuários, onde eles trocam informações acerca de restaurantes seguras para sua alimentação. Este é um ponto favorável ao Celiaquitos, porém ele é muito limitado, prestando suporte apenas a pessoas com intolerância a glúten e apresentando apenas restaurantes em sua plataforma.

O SafeFood é o único que disponibiliza receitas em sua plataforma, algo que é de extrema relevância, pois possibilita aos usuários terem acesso a uma maior gama de receitas que eles podem fazer no dia a dia. Ele também presta suporte a vegetarianos e veganos, atendendo assim pessoas que tem não somente restrições ligadas a problemas de saúde, mas também a mudanças do cotidiano. Porém, o SafeFood não possui nenhuma forma de avaliação de seus itens.

Dentro os trabalhos relacionados, é possível verificar que nenhum apresenta uma plataforma colaborativa para ampla publicação e avaliação de receitas e restaurantes, em conjunto com uma grande abrangência de restrições alimentares. É visível também a necessidade de se realizar isso de forma colaborativa, para que os usuários possam se ajudar de forma dinâmica e que a comunidade do aplicativo aumente progressivamente. Considerando-se motivos apresentados, nenhum dos trabalhos se mostra como uma plataforma colaborativa com uma ampla abrangência de restrições. A fim de contornar as limitações apresentadas pelos demais trabalhos, apresenta-se na Seção 3 a plataforma colaborativa wIntolerance, cujo objetivo é a integração e ajuda mútua entre pessoas com restrições alimentares.

3. Metodologia

3.1. Pesquisa e planejamento

Com o presente trabalho pretende-se ampliar o auxílio às pessoas que sofrem com alimentação restritiva, identificando problemas e disponibilizando o devido apoio, através de um aplicativo para dispositivos móveis. Para identificar melhor a necessidade do público-alvo foi realizada uma pesquisa de campo, voltada a pessoas com restrições alimentares. A pesquisa foi dividida em 3 seções, na primeira foram perguntadas as informações pessoais do indivíduo, como: restrição que possui, idade e cidade onde reside. A segunda seção do questionário foi direcionada a perguntas acerca de restaurantes, como com qual frequência eles vão a restaurantes, o que eles procuram em um restaurante e qual o preço máximo que poderiam pagar em algo voltado para sua restrição. Por fim, a última seção foi feita em relação a receitas, perguntando qual a possibilidade de eles usarem uma plataforma que facilite o acesso a receitas que atendem às suas restrições alimentares e quais as maiores dificuldades que enfrentam no dia a dia.

A fim de identificar a viabilidade de uma plataforma voltada para público intolerante/alérgico, a seguinte pergunta foi criada: “Você utilizaria uma plataforma (sites ou aplicativos) que facilitaria o acesso às receitas que atendam suas restrições alimentares?”. Onde 78,9% das pessoas responderam positivamente, desta forma, tivemos certeza que era necessária a criação de algo que atendesse essas pessoas.

Outra pergunta relevante para o projeto foi: “Você encontra dificuldade em localizar restaurantes que tenham pratos voltados às pessoas com restrições alimentares?”. Por meio deste foi possível o quão necessário é a disponibilidade de algo que faça a conexão entre clientes e restaurantes, dado que 81% das pessoas responderam “Sim”.

A pesquisa teve um total de 42 entrevistados, captados durante a apresentação do projeto em feiras e pela divulgação do projeto na escola e na rede de contatos dos desenvolvedores. Após o apuramento dos resultados, foi possível analisar diversas funcionalidades que deveriam ser implementadas no aplicativo, assim como alguns detalhes e características que a plataforma deveria possuir.

Com base nas pesquisas realizadas sobre computação ubíqua e sobre os aplicativos existentes na área de acessibilidade foram definidos os requisitos da plataforma. A seguir, os requisitos do sistema são apresentados:

- **Requisito 1:** Cadastro de perfil, receitas e restaurantes;
- **Requisito 2:** Busca dinâmica por nome, localidade (caso seja um restaurante), restrição atendida, tipo de receita;

- **Requisito 3:** Avaliação de receitas e restaurantes, onde se pode avaliar quesitos específicos para cada um;
- **Requisito 4:** Mapa que apresenta restaurantes próximos com base na localidade do usuário.

Os requisitos apresentados foram pensados visando prover a maior facilidade aos usuários, no âmbito de cadastrar e pesquisar receitas. Por exemplo, o Requisito 3 é muito importante para o aplicativo, pois é por meio dele que o usuário colaborará com a plataforma. O Requisito 2 também será bastante utilizado pelos usuários da plataforma, pois a busca dentro do aplicativo é feita para o usuário encontrar o que ele realmente deseja, informando o máximo de detalhes possíveis, seja uma receita ou um restaurante.

3.2. Desenvolvimento

3.2.1. A plataforma wIntolerance

O wIntolerance é possui dois componentes chamados de wInServer e wInApp. A função do wInServer é a de manuseio de dados, persistindo, entregando, atualizando e deletando informações quando necessário. O wInServer consiste em um Web Service REST, programado em Java utilizando frameworks como JAX-RS e Jersey, que se conecta com um banco de dados relacional MySQL por meio do framework JPA Hibernate. O wInApp, entretanto, é uma plataforma desenvolvida para dispositivos Android que utiliza esses serviços para que haja a interação com o usuário final e assim o mesmo tenha grande controle sobre suas ações e o que pode ou não ser feito no aplicativo. O wInApp utiliza diversas bibliotecas disponíveis para Android para otimizar o produto final e o tempo de produção, talvez a mais importante delas sendo a biblioteca Retrofit, utilizada para fazer requisições para o wInServer, por meio do protocolo HTTP com conteúdo JSON. O wInApp é representado na Figura 5 pela aplicação Android e o wInServer pelo RESTful Web Service.

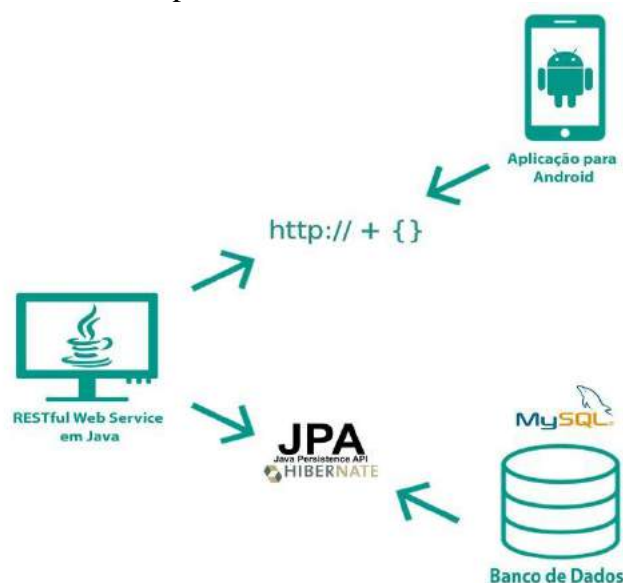


Figura 5. Arquitetura do Sistema

3.2.1.2. O componente wInServer

O wInServer é uma aplicação Java que provê os dados necessários para consumo do wInApp. Para facilidade de explicação, pode-se dividir o wInServer em três camadas principais:

A camada Entity, é onde se encontram os POJOs, classes Java que servem para representar os principais componentes do sistema. Cada classe POJO tem suas anotações do framework Hibernate, estas que por sua vez definem o comportamento deste objeto ao ser mapeado para uma entidade relacional. Por exemplo, uma receita cadastrada no aplicativo pode abranger várias restrições alimentares diferentes. A representação disso em código seria que o POJO “Receita” pode ter vários POJOs “Restrição”, este relacionamento sendo definido pela anotação “@OneToMany” do Hibernate.

A segunda camada, é denominada DAO e é onde operam as classes que efetuam operações no banco de dados, manipulando os POJOs da camada Entity para que possa alterar, deletar e adicionar novas entidades ao banco de dados impondo antes quaisquer regras necessárias para isso. Nesta camada se encontram as classes DAO, que são classes específicas para acesso e alteração de dados das entidades supracitadas. Estas classes são responsáveis também pela transformação dos POJOs em DTOs, que são objetos de transporte de dados que servem para que os POJOs não tenham contato direto com o usuário final e também para levarem apenas os dados necessários para visualização e uso no wInApp. As classes DTO foram mapeadas utilizando anotações JAXB que possibilitam a configuração dos objetos JSON que serão entregues pelo *WebService* para as requisições do wInApp.

Para garantir a qualidade do *software*, foram utilizados os frameworks Mockito e junit para a criação de testes unitários, que são altamente importantes para que haja total certeza do funcionamento dos métodos dos serviços inclusive em casos extremos, os chamados *edge cases*. A utilização dos testes foi de suma importância desde o início da implementação da plataforma, pois se um teste retorna resultado negativo é sinal de que algo deve ser alterado no código-fonte, para que não haja futuros problemas.

A camada chamada Services é onde foi configurado o *Web Service* REST do wIntolerance. O Web Service foi desenvolvido utilizando os frameworks JAX-RS e Jersey, que definem um conjunto de regras de serviços RESTful. Nesta camada foram definidas as *Controllers*, que são as rotas disponíveis no Web Service para consumo de dados.

3.2.1.2 O componente wInApp

O aplicativo do wIntolerance foi desenvolvido em Android nativo, partindo da API 19, tem suas bases de estilo seguindo o padrão *Material Design* do Google e também utilizando bibliotecas para otimização de produção. Para o consumo dos dados oriundos do wInServer, é utilizada a biblioteca Retrofit (2013). Esta biblioteca possibilita, por meio de interfaces, configurar quais as rotas que se deseja consumir do *WebService*, quais parâmetros enviar e quais cabeçalhos definir para cada requisição. A biblioteca utiliza da biblioteca GSON do Google para transformar os objetos JSON vindos de requisições em objetos Java e vice-versa.

Para a localização de Restaurantes nas redondezas dos usuários é utilizada a biblioteca Google Maps, que tem ótima integração com Android e provê informações bastante completas sobre muitos locais requisitados. Esta biblioteca também é utilizada em outros pontos do aplicativo, como no cadastro de um novo Restaurante, quando o

mapa é utilizado para que o Usuário selecione o endereço do restaurante. Além destas bibliotecas também são utilizadas outras, de menor tamanho e impacto geral, para auxílio nas configurações de estilo e disposição de elementos no aplicativo. Uma outra biblioteca cabível de menção é a Compressor, que serve para comprimir imagens para um tamanho em disco bem menor sem perda visível de qualidade. O objetivo geral da interface visual do aplicativo é dispor ao usuário uma interface bastante leve e dinâmica, baseando-se nos conceitos de *Material Design* para Android para definição de paletas de cores, sombreamentos, contrastes e afins. A facilidade de uso é um dos fatores mais norteadores do projeto.

4. Aspectos de avaliação

A validação e avaliação do sistema se dará por meio de um cenário de teste em ambiente controlado em conjunto com questionários e entrevistas, a fim de averiguar a aceitação do wIntolerance. Para tal, será utilizado o modelo estendido da *Unified Theory Of Acceptance and Use of Technology*, conhecido como Teoria Unificada de Aceitação e Usa da Tecnologia (UTAUT2). O UTAUT2 utiliza as variáveis Intenção de Comportamento e Intenção de Uso, sendo que ambos levam em consideração outras variáveis, como Expectativa de Desempenho, Influência Social, Motivações Hedônicas, Hábito. [Venkatesh, V. et al., 2012 apud Faria, L. et al., 2014]. Assim sendo, os dados coletados via os questionários e entrevistas serão avaliados utilizando esses dois critérios, por meio de tais informações será possível identificar quais pontos do aplicativo necessitam de algum aprimoramento e o nível de aceitação que ele tem.

5. Resultados e discussão

No wIntolerance, os usuários podem primeiramente acessar sem fazer cadastro, podendo apenas visualizar as receitas e restaurantes, caso queiram publicar e avaliar os itens do aplicativos, devem se cadastrar utilizando um e-mail e senha, onde os mesmos passarão por validações, por exemplo se o e-mail está no formato exemplo@exemplo.com ou se a senha possui no mínimo seis caracteres. Após realizar o cadastro, o usuário poderá aprimorar seu perfil, adicionando uma foto e suas restrições.

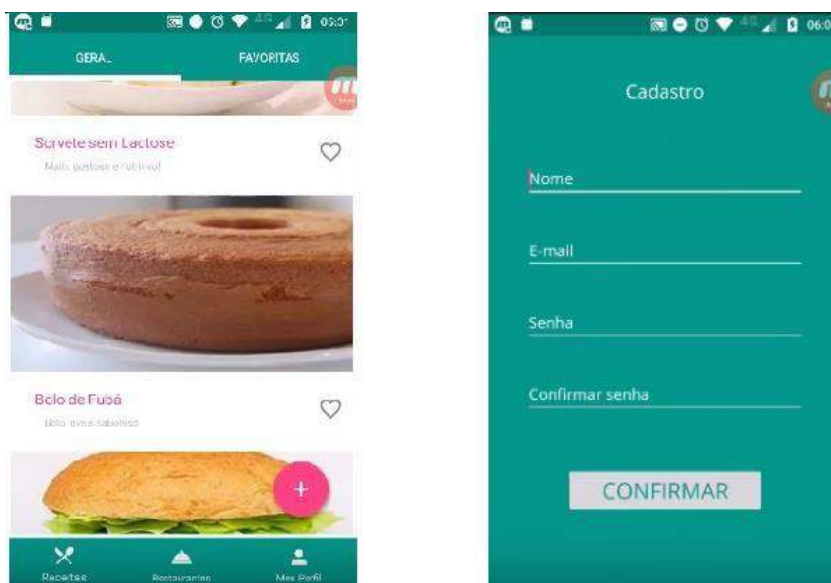


Figura 6. Tela inicial e tela de cadastro de perfil.

Como pode ser visto na Figura 6, na tela inicial são apresentadas as receitas mais bem avaliadas do momento, onde o usuário pode optar por clicar para abrir mais detalhes sobre a receita clicada ou favoritar a mesma. É possível também acessar outras seções como os restaurantes ou o perfil do usuário. O usuário também pode cadastrar receitas (Figura 7). Para isso, ele deve preencher os campos, adicionando o nome, a foto, a categoria dessa receita, quais restrições ela abrange, seu tempo de preparo e rendimento e também, especificar seu passo a passo e ingredientes.

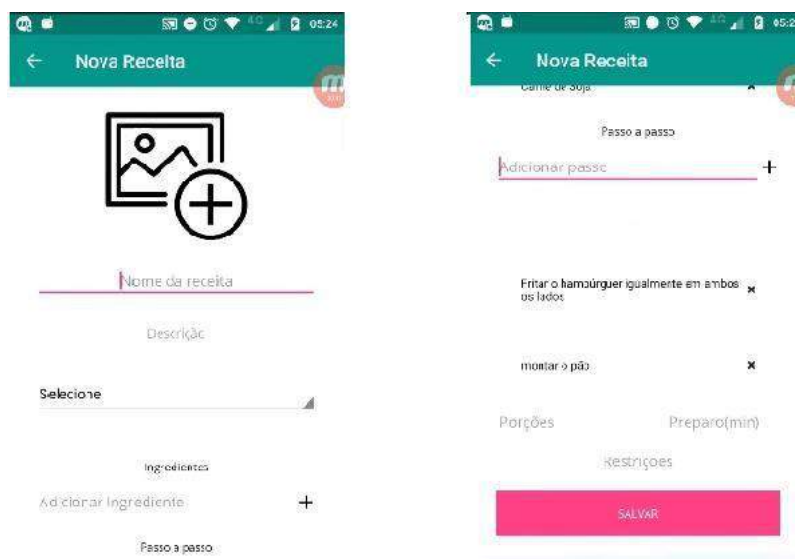


Figura 7. Tela de cadastro de receitas

6. Conclusões e trabalhos futuros

Com o decorrer do processo de pesquisa foi possível identificar que, apesar de assuntos relacionados a restrições alimentares estarem cada vez mais presentes na mídia e no conhecimento popular, isso não acontece em relação a plataformas colaborativas que atendam a esse tipo de público. A falta de comunicação e visibilidade de restaurantes acessíveis é um dos principais problemas para pessoas com restrições alimentares. Foi possível verificar que a maioria dos entrevistados relatou problemas relacionados à dificuldade de acesso a informações e do desconhecimento de restaurantes que atendam a sua restrição.

A fim de dar continuidade a plataforma, pretende-se integrar a plataforma com redes sociais já conhecidas, como Facebook e Twitter, com o intuito de ampliar a comunidade do aplicativo. Após, pretende-se criar uma nova seção no aplicativo, onde profissionais da área da nutrição poderão se comunicar com os usuários da plataforma e também será implementado o apoio à pessoas que necessitam seguir uma certa dieta, por exemplo, alguém que não pode ingerir glúten, mas que necessita de uma alimentação rica em proteínas. Por fim, será realizada a validação e avaliação do sistema, através de cenários de teste em ambiente controlado, e em conjunto com questionários e entrevistas, a fim de averiguar a aceitação da plataforma, como descrito na Seção 4.

Referências

- Bricks, L. Reações adversas aos alimentos na infância: intolerância e alergia alimentar: atualização. *Pediatria*, p. 176-185, 1994. Disponível em: <<http://www.luzimarteixeira.com.br/wp-content/uploads/2009/11/atualizacao-em-intolerancia-alimentar.pdf>> Acesso em: 14 de jun. 2016.
- Faria, L; Giuliani, A; Pizzinatto, N; Pizzinatto, A; A aplicabilidade do modelo estendido ao consumo da Teoria Unificada da Aceitação e Uso da Tecnologia (UTAUT2) no Brasil: Uma avaliação do modelo a partir de usuários de internet em smartphones. *Rev. ADM. UFSM, Santa Maria*, v. 7, Número 2, p. 332-348, 2014. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/reaufsm/article/viewFile/13088/pdf>>. Acesso em: 10 de mai 2017.
- Filho, R; Scalco, F; Pinto, A. Alergia à proteína do leite de vaca. *Rev. Med. Minas Gerais*, p. 374-380, 2014. Disponível em: <<http://rmmg.org/esportar-pdf/1658/v24n3a13.pdf>> Acesso em: 14 de jun. 2016.
- Gasparin, F; Carvalho, J; Araujo, S. Alergia à Proteína do Leite de Vaca Versus Intolerância à Lactose: As Diferenças e Semelhanças. *Saúde e Pesquisa*, v. 3, n. 1, 2001. Disponível em: <<http://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/saudpesq/article/view/1069>> Acesso em: 14 de jun. 2016.
- Google. Material Design. Disponível em: <<https://design.google.com/articles/>>. Acesso em: 31 de mar. 2016.
- Metz, G.; Burks, W. Food allergies; *ACP Medicine*. pg. 1-8, 2009. Disponível em: <http://www.medicinanet.com.br/m/conteudos/acp-medicine/5318/alergias_alimentares_%E2%80%93_gregory_m_metz_a_wesley_burks.htm> Acesso em: 11 de maio 2016.
- Nunes, M; Barros, R; Moreira, P; Moreira, A; Almeida, M. Alergia alimentar. PORTUGAL. Ministério da educação e ciência, 2012. Disponível em: <<https://www.dgs.pt/documentos-e-publicacoes/alergias-alimentares-jpg.aspx>> Acesso em: 14 de jun. 2016.
- Pérez-Machado, M; Ashwood, P; Thomson, M; Latcham, F; Sim, R; Walker-Smith, J; Murch, S. Reduced transforming growth factor- β 1- producing T cells in the duodenal mucosa of children with food allergy. *European journal of immunology*, v. 33, n. 8, p. 2307-2315, 2003. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/eji.200323308/full>> Acesso em: 15 de jun. 2016.
- Pimentel, M; Gerosa, M; Filippo, D; Raposo, A; Fuks, H; Lucena, C. Modelo 3C de Colaboração para o desenvolvimento de Sistemas Colaborativos, 3º SBSC, 2006. Disponível em: <https://webserver2.tecgraf.puc-rio.br/~abraposo/pubs/SBSC2006/07_Pimentel_Modelo3C.pdf> Acesso em 01 de abr. 2016.
- Porto, C; Thofehrn, M; Sousa, A; Cecagno, D. Experiência vivenciada por mães de crianças com intolerância à lactose. *Família, Saúde e Desenvolvimento*, v. 7, n. 3, 2005. Disponível em: <<http://revistas.ufpr.br/refased/article/view/8032/5655>> Acesso em: 15 de jun. 2016.

- Quintana, A. Uma análise sistemática das legislações vigentes no Brasil e no exterior referente a alimentos considerados isentos de glúten, 2011. 31 f. TCC (Graduação) - Curso de Direito, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011. Disponível em: <http://www3.pucrs.br/pucrs/files/uni/poa/direito/graduacao/tcc/tcc2/trabalhos2011_1/ana_quintana.pdf> Acesso em: 20 de ago. 2016.
- Sanz, M. Inmunidad del tracto intestinal: procesamiento de antígenos. *Alergología e Inmunología Clínica*, Madrid, v. 16, n. 2, p. 58-62, 2001. Acesso em: 27/08/2016
- Satyanarayanan, M. (2001) Pervasive Computing: vision and challenges, *IEEE Personal Communications*, [S.l.], v. 8, p. 10–17, 2001. Disponível em: <<http://www.cs.cmu.edu/~aura/docdir/pcs01.pdf>>. Acesso em: 09 de dez. 2016.
- Spiekermann, S. General Aspects of Location-Based Services. In: SCHILLER, J; VOISARD, A. *Location-based Services*. Elsevier, 2004. p. 15 - 32. Acesso em: 08 de jun. 2016.
- Square Inc. Retrofit, 2013. Disponível em: <<http://square.github.io/retrofit/>>. Acesso em: 31 de mar. 2016.
- Tumas R; Cardoso, A. Como conceituar, diagnosticar e tratar a intolerância à lactose. *Revista Brasileira de Clínica e*, v. 34, n. 1, p. 13-20, 2008. Disponível em: <http://www.moreirajr.com.br/revistas.asp?id_materia=3697&fase=imprime> Acesso em: 15 de jun. 2016.
- Vieira, C. *Guia de Diagnóstico e Tratamento de Alergia à Proteína do Leite de Vaca*. São Paulo, SP: Suporte, 2004.
- Weiser, M. The computer for the 21st century, *Scientific American*, v. 265, n. 3, p. 94-104, 1991. Disponível em: <<https://www.ics.uci.edu/~corps/phaseii/Weiser-Computer21stCentury-SciAm.pdf>>. Acesso em: 09 de dez. 2016

Towards an Educational Platform with Real-Time Collaboration and Monitoring of Students Achievement

Paulo Silas Severo de Souza, Wagner dos Santos Marques,
Jaline Gonçalves Mombach

¹Instituto Federal Farroupilha (IF Farroupilha)
Campus Alegrete – RS – Brasil

{paulo.souza, wagner.marques}@email.com,

jaline.mombach@iffarroupilha.edu.br

Abstract. *Several studies have been undertaken aiming to improve the efficiency of e-learning through the development of features to Virtual Learning Environments. However, such researches have no focus on the use of collaboration of learning objects and analysis of students' progress in real-time. Hence, this paper presents an educational platform that allows real-time co-authorship and monitoring of students' progress in learning objects, through the implementation of software engineering techniques and patterns designed for educational systems.*

Resumo. *Diversos estudos têm sido empreendidos visando aumentar a eficiência da aprendizagem à distância, por meio do desenvolvimento de funcionalidades para Ambientes Virtuais de Aprendizagem. Todavia, estas pesquisas não possuem foco no uso de colaboração de objetos de aprendizagem e análise do progresso dos alunos, em tempo real. Por isto, este artigo apresenta uma plataforma educacional que permite coautoria em tempo real e acompanhamento do progresso de alunos em objetos de aprendizagem, através da implementação de técnicas de engenharia de software e padrões de sistemas educacionais.*

1. Introduction

In the educational context, there is a concern about the prevention of learning issues such as misunderstood concepts, which can create gaps of knowledge that can induce students to school dropout (LAMB EIFRED MARKUSSEN, 2011). In the Computing courses context, there are some disciplines, such as Introduction to Algorithms, which concepts serve as basis to subsequent disciplines. Although, newcomer students usually have some issues on these disciplines, since it require an efficient usage of the cognitive processes, such as abstraction and formalization, in order to model a problem's solution through a computational code (FALCKEMBACH; ARAUJO, 2013).

In this sense, the Information and Communication Technologies (ICTs) emerge as a viable solution to combat the gaps of knowledge created by misunderstanding of theoretical concepts, since it permits the use of analytical tools which provide a accurate analysis of student's learning progress, allowing teachers to quickly identify student's learning difficulties (WHITE; LARUSSON, 2014).

Beyond providing an analysis of the students' learning progress, analytical tools can also provide a feedback regarding the efficiency of each used activity (e.g., puzzles, questionnaires, hunting words games, etc.), so teachers can adapt the pedagogical contents in order to meet the students' needs. Moreover, applications supporting real-time collaboration (e.g., wikis and Google Drive¹) has been used to ease the development of contents suitable to students needs and improve the teamwork during the proposed activities (GARNER, 2010).

Therefore, several researches have been undertaken aiming to ease the collaboration on educational environments (RODRIGUES et al., 2014; LUCENA; SILVA; OLIVEIRA, 2015; MAZZA; DIMITROVA, 2007; ZORRILLA; ÁLVAREZ, 2008; SIQUEIRA; PINHATI, 2015). Nonetheless, neither of these studies have provided both collaboration of learning objects and monitoring of students' progress in real time. Thus, this paper presents a pedagogical platform with the following main contributions:

- *Real-time collaboration*: the proposed platform allows teachers collaboration during the development of learning objects.
- *Learning objects sharing*: our proposal gives teachers the possibility of easily share their learning objects to other teachers which use the platform.
- *Learning Analytics*: such platform provides a detailed feedback of students progress in real time (e.g., which questions took more time to be responded on a questionnaire).

The remaining part of this study is organized as follows. In Section 3, we show the theoretical background which served as basis to the development of the proposed platform; in Section 2 we discuss about related researches; Section 4 is reserved for the explanation of the proposal; and in Section 6 we present the final remarks.

2. Related Work

Rodrigues et al. (2014) have been proposed a tool based on multi-agents architecture, that allows the creation of customized learning objects. Furthermore, Lucena, Silva e Oliveira (2015) have developed a plugin to Moodle VLE, that allows monitoring students' activities, by using TreeMap technology, that graphically organizes the results in a hierarchical manner.

Mazza e Dimitrova (2007) also emphasizes monitoring of students' performance by proposing a tool where several graphical presentations are generated aiming to help tutors in trend identification (e.g., students who need special attention). Likewise, Zorrilla e Álvarez (2008) proposed a tool that provides educational reports using general guidelines for design of business intelligence applications. Moreover, Siqueira e Pinhati (2015) have proposed an application that allows the development of learning activities with emphasis in multimedia materials.

What differentiates our work from the other covered in this section is to unite the real-time collaboration to monitor students' achievements. In addition, the proposed platform will also be available for mobile devices, such as smartphones and tablets.

¹ Available at: <<https://drive.google.com>>.

3. Background

In this section, we present the theoretical background about the use of collaborative approaches' usage on the educational context. Moreover, we show some concepts, such as learning environments and virtual learning environments, which will pave the way to the proposed platform.

3.1. Collaboration on Education

The increasingly use of technological elements to improve the quality of processes has contributed to the rise of service-based organizations. Hence, it's becoming even more common companies which improve their processes by sharing resources independently of its culture, primary language and location. In this sense, collaboration and teamwork are becoming essential skills to ensure the professional success (SPIELBERGER, 2004).

On the educational context, the collaboration is also a very important element: teachers can exchange knowledge with each other, creating more efficient pedagogical materials, and students can improve their skills by working together with their colleagues.

In this sense, technology can ease the collaboration on this scenario through elements like Learning Objects (LOs), which are digital resources created based on the idea of objects (which comes from the Object-Oriented programming paradigm), that are elements that can be reused on multiple contexts. Thus, the idea behind learning objects is to allow the creation of instructional components that can be reused several times in different learning contexts. So, LOs favour the collaboration, since teachers can exchange such materials, adapting it to their student's needs (WILEY, 2001).

Moreover, there are digital environments developed in order to ease the use of pedagogical materials by students and teachers. Such environments are called Virtual Learning Environments (VLEs), which are softwares whose objective is support teaching and learning activities through the internet. More specifically, VLEs are preconfigured platforms which provide an integrated set of tools that allow the manipulation of educational materials without requiring an advanced technical knowledge in computing, such as programming. Furthermore, these environments allow teachers to share materials with their students and also evaluate their progress, which allow its use on both classroom and on-line courses (O'LEARY; RAMSDEN, 2002).

Thus, in this paper we present an educational platform which unifies the concepts behind learning objects and virtual learning environments. Our proposal allows the collaborative creation and usage of learning objects. In addition, teachers can share their materials with their colleagues, and analyze their students progress in real-time.

4. Materials and Methods

In this Section we present which methodology, technologies and techniques had been used on the development of the proposed platform.

4.1. Educational Systems Patterns

Usability is a very important subject on software development, since this area is related to the use of techniques, guidelines, and methods developed in order to ensure that the software product is easy to use and it covers its user's needs and objectives.

In this sense, the development process of the proposed platform is guided by 9 design patterns introduced by Silva e Anacleto (2015), which are recommended to educational systems that allow co-authorship of its contents:

- i) *co-authorship Option*: the system should clearly inform to the users the possibility of co-authorship.
- ii) *Synthesis*: the application's objective should be explained in a simple way, preferentially at the first page
- iii) *Objective*: the application's objective should be presented succinctly to the co-author, near to the system's rules.
- iv) *Information*: the system should define which information should be informed by the co-author.
- v) *User*: stipules an analysis of which information should be requested at the users registration.
- vi) *Steps*: determines the division of the processes on steps, i.e., the information should be requested separately, avoiding user confusion. Only information directly related should be requested at the same page.
- vii) *Steps' Characteristics*: the user should be able to both go back to previous steps or even advance to posterior steps.
- viii) *What need to be done*: the application should present an explanation of what need to be done on every step.
- ix) *Content Reuse*: the system should clearly present the customization feature (e.i., features of editing, reusing, and insertion).

4.2. Software Engineering Resources

In software engineering, modeling languages offer specifications that allow improvements in systems design. For this, those languages stipulate rules and patterns of development. One of the most known modeling languages is UML (Unified Modeling Language), that can be used in different kinds of projects, covering aspects such as requirements and data-flow (STEPHENS, 2015). Thus, UML diagrams will be used to improve the architectural design and the efficiency of developers on the proposed platform.

SCRUM is a software engineering agile technique based on agile development that aims to increase developers' productivity and increase the interaction between stakeholders. By its flexibility, SCRUM can be used in projects of different spreads (BISSI, 2007; MEIRELES; BONIFÁCIO, 2015). Such technique focuses on reducing the documentation and giving more importance to the software development. In addition, SCRUM is characterized for its iterative and incremental development method: SCRUM divides the software development in a series of interactions (called sprints) which takes one to four weeks. Each sprint involves the development of some features which are coded, tested and integrated into the system. In this sense, users can access the system even when it is not completed yet. Regarding project planning, SCRUM promotes meetings with the stakeholders for planning, reviewing and retrospection. (SINDHGATTA; NARENDRA; SENGUPTA, 2010).

SCRUM can also be used along with other techniques, such as Test-Driven Development (TDD). TDD is a software engineering technique which suggests the creation of tests before the implementation of the application features. Thus, the coding process using TDD is guided by the tests' specifications previously defined. The use of such technique

brings several benefits to the software project, such as improvements in the architecture (on a context in which an object-oriented programming language is used, the features' development based on tests can improve the design of systems' classes) and increasing the speed of the development (since all tests are written before the coding process, the developers can execute it, quickly identifying problems). Moreover, the use of TDD with SCRUM can improve the software architecture's design and usability (SOARES; CABRAL; ALENCAR, 2013).

Moreover, the proposed platform will be developed using Ruby on Rails² (which is a very known web framework built with the Ruby programming language³). Such technology was chosen since it uses the REST (Representational State Transfer) architectural style, which eases the development of web platforms by representing the application resources as URLs (Uniform Resource Locators). Moreover, Ruby on Rails also facilitates the development of asynchronous features through the ActionCable class (BRADBURNE, 2016). This feature will be used in the implementation of the real-time features provided by the proposed platform (such as monitoring of students achievement and real-time collaboration during the development of activities).

5. Proposed Platform

Firstly, we analyzed the functional and non-functional requirements of the proposed platform. The non-functional requirements, presented in Table 1, illustrate the characteristics and internal aspects which the software need to have (e.g., security and usability). functional requirements represent the features of the application (e.g., activities management and users registration). The description of such requirements are shown in Table 2 (SILVA; BARROSO et al., 2016).

Table 1. Non-functional requirements (desired characteristics) of the platform.

Requirement	Description
Performance	The system must perform well during the execution of all the available features, presenting a loading time no longer than 4 seconds. In addition, the application must support up to 10000 concurrent users without presenting performance lacks.
Security	The platform' features which involve interaction with the database must require user authentication. Moreover, private information such as passwords must be encrypted on the database.
Responsiveness	The proposed platform (which will be developed in a web environment) must be developed using responsive design guidelines, e.i., the application interface must automatically adjust itself to the dimensions of different devices (e.g., tablets, smartphones, and computers).
Usability	The system' features must be presented in order to ease the users' interaction. More specifically, a study must be carried out in order to analyze which colors should be used and how the elements should be arranged on the platform.
Availability	The system must have a uptime of at least 98%. In addition, when some error happens, the application should send a warning e-mail to the administrator.

After the identification of the system requirements, we analyzed how the users would interact with the application. A use case diagram is presented in Figure 1.

²Available at: <<http://rubyonrails.org>>.

³Available at: <<https://www.ruby-lang.org/pt>>.

Table 2. Functional requirements (features) of the proposed platform.

Requirement	Description	Priority Level
Users' Management	The system must provide features related to users management (login, registration, editing accounts).	Essential
Sharing and manipulation of Activities	On the platform, teachers should be able to create and share activities with their students. Moreover, teachers should also be able to collaborate on the development of other teachers' activities.	Essential
Monitoring of Students' Achievement	Teachers should be able to analyze their students' achievements.	Important
Statistical Information	Administrators should have access to analytical information about the users and about the created activities.	Desirable

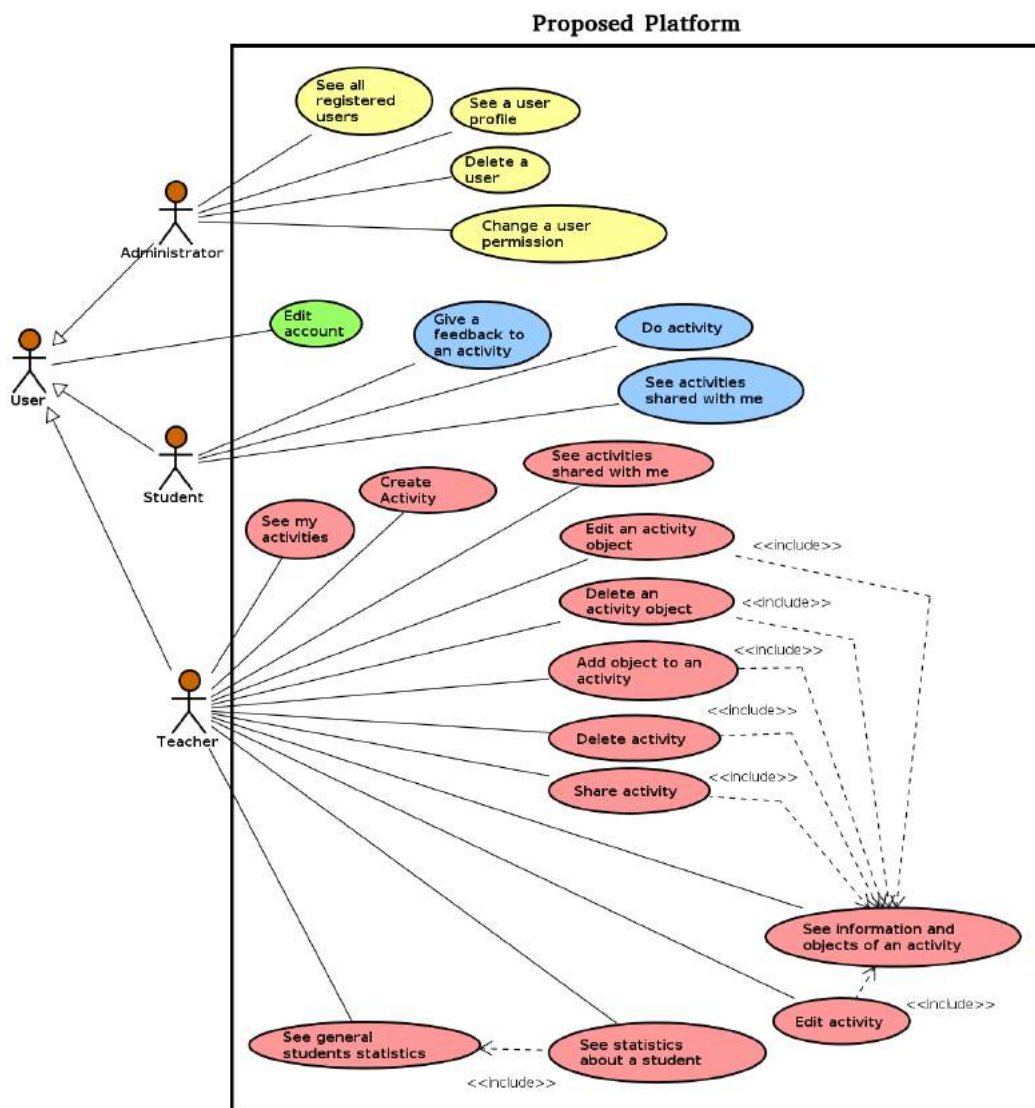


Figure 1. Use case diagram of the proposed platform which demonstrates which features will be available to each user level.

The use case diagram was developed in order to provide a holistic view of the features which would be present on the proposed platform. In this phase, we identified

that the application should have 3 users' levels:

- *Administrators*: would have access to the statistical module of the platform (shown in Figure 3), which presents information about the system and its users (e.g., types of registered activities, more active teachers, evolution of the number of registered users, etc.).
- *Teachers*: would be able to create, edit, share activities with their students, and also invite other teachers to collaborate on the development of their activities. Moreover, teachers would also be able to create public activities, which would be available to all registered students, and would be cloned and edited by other teachers (without a need of invitation).
- *Students*: would be able to participate in activities, interacting with their colleagues and teachers through activity's comments. More specifically, students will have access to activities through codes which will be provided by their teachers. Such process is shown in Figure 2.

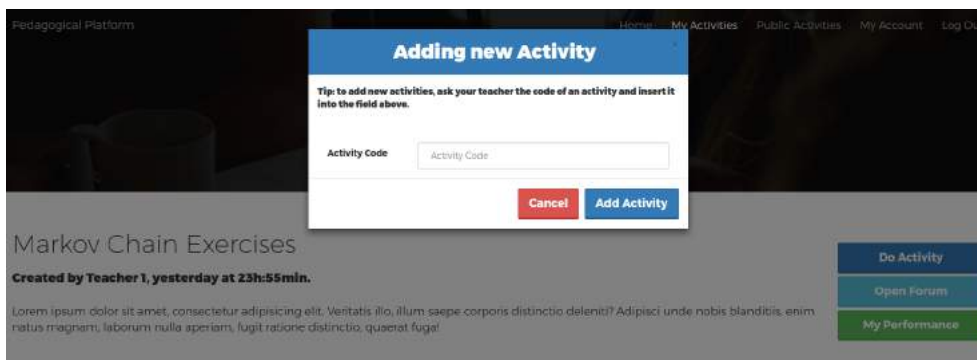


Figure 2. On the proposed platform, teachers will be able to choose if their activities will be public or private. Public activities will be available to all students registered on the platform, and the private ones will be only accessible through a code.

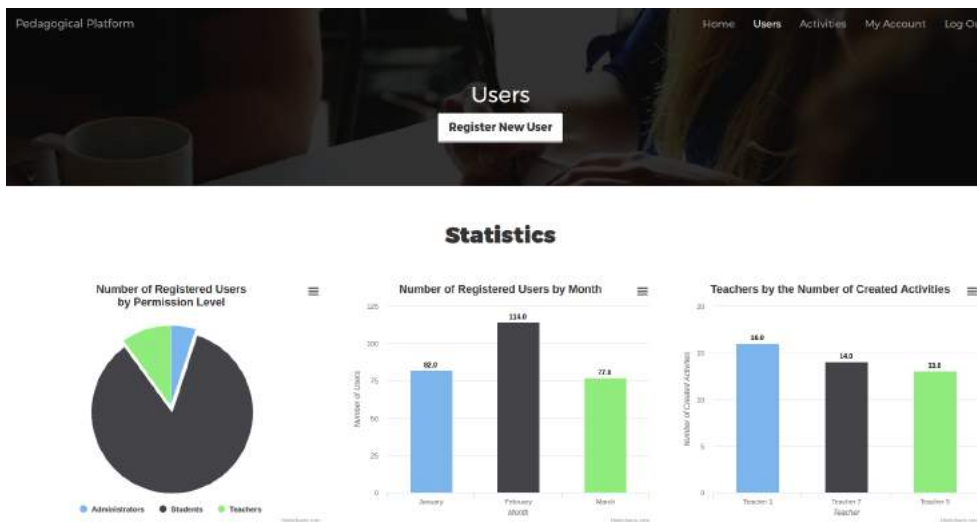


Figure 3. Administrators will be able to create new users (students, teachers, and administrators), and will have access to statistics about the registered users.

6. Conclusions

The majority of Virtual Learning Environments offer a lot of information that can be used in evaluation and monitoring of students (e.g. participation index, access horary, and final results of tests). Nonetheless, the majority of such information are used by quantitative analysis, which only collects data at the end of pedagogical activities or even at the conclusion of the discipline, hampering the detection and the decision-making based on students' learning difficulties during the pedagogical process (ALMEIDA; PIMENTEL; STIUBIENER, 2012).

In this sense, the collaboration of this paper consists in the proposition of a pedagogical platform that allows the co-authorship of learning objects, with the possibility of real-time collaboration between teachers. Moreover, teachers can share such resources with students, and analyze their progress, quantitatively and qualitatively. Currently, such platform is been developed. In this sense, as future work, we intend to finish its development and implement intelligent agents to help teachers on decision-making based on students achievement.

References

- ALMEIDA, A.; PIMENTEL, E. P.; STIUBIENER, I. Estratégias para o monitoramento de ações de tutoria na educação a distância. In: *Anais dos Workshops do Congresso Brasileiro de Informática na Educação*. [S.l.: s.n.], 2012. v. 1, n. 1.
- BISSI, W. Metodologia de desenvolvimento ágil. *Campo Digital*, v. 2, n. 1, 2007.
- BRADBURNE, A. *Rails 5 revealed*. [S.l.]: Springer, 2016.
- FALCKEMBACH, G. A. M.; ARAUJO, F. V. de. Aprendizagem de algoritmos: dificuldades na resolução de problemas. *Anais Sulcomp*, v. 2, 2013.
- GARNER, S. Supporting the personal knowledge management of students with technology. In: *Proceedings of Informing Science & IT Education Conference (InSITE)*. [S.l.: s.n.], 2010. p. 237–246.
- LAMB EIFRED MARKUSSEN, R. T. J. P. N. S. S. *School dropout and completion international comparative studies in theory and policy*. Dordrecht: Springer Netherlands, 2011. ISBN 978-90-481-9762-0,978-90-481-9763-7.
- LUCENA, K. T.; SILVA, J.; OLIVEIRA, E. Webmonitor: uma ferramenta para monitoramento e acompanhamento de cursos em um ava. In: *Anais do Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*. [S.l.: s.n.], 2015. v. 26, n. 1, p. 249.
- MAZZA, R.; DIMITROVA, V. Coursevis: A graphical student monitoring tool for supporting instructors in web-based distance courses. *International Journal of Human-Computer Studies*, Elsevier, v. 65, n. 2, p. 125–139, 2007.
- MEIRELES, M. C.; BONIFÁCIO, B. Uso de métodos ágeis e aprendizagem baseada em problema no ensino de engenharia de software: Um relato de experiência. In: *Anais do Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*. [S.l.: s.n.], 2015. v. 26, n. 1, p. 180.
- O'LEARY, R.; RAMSDEN, A. Virtual learning environments. *Learning and Teaching Support Network Generic Centre/ALT Guides, LTSN. Retrieved July*, v. 12, p. 2005, 2002.

- RODRIGUES, A. M. et al. Saapiens: Uma ferramenta de autoria de objetos de aprendizagem e apoio pedagógico na dedução natural na lógica proposicional. In: *Anais do Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*. [S.l.: s.n.], 2014. v. 25, n. 1, p. 1003.
- SILVA, A.; BARROSO, J. et al. A survey about the situation of the elicitation of non-functional requirements. In: IEEE. *2016 11th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)*. [S.l.], 2016. p. 1–6.
- SILVA, M. A. R.; ANACLETO, J. C. Formalização e validação de padrões para apoiar o design de sistemas educacionais com coautoria. *Revista Brasileira de Informática na Educação*, v. 23, n. 01, p. 43, 2015.
- SINDHGATTA, R.; NARENDRA, N. C.; SENGUPTA, B. Software evolution in agile development: a case study. In: ACM. *Proceedings of the ACM international conference companion on Object oriented programming systems languages and applications companion*. [S.l.], 2010. p. 105–114.
- SIQUEIRA, S. W. M.; PINHATI, F. Plataforma mignone: Ambiente virtual de aprendizagem e objetos de aprendizagem especializados para a educação musical. *Revista Brasileira de Informática na Educação*, v. 23, n. 02, p. 1, 2015.
- SOARES, R.; CABRAL, T.; ALENCAR, F. M. Gerenciamento de requisitos em scrum baseado em test driven development. In: *ER@ BR*. [S.l.: s.n.], 2013.
- SPIELBERGER, C. *Encyclopedia of applied psychology*. [S.l.]: Academic Press, 2004.
- STEPHENS, R. *Beginning Software Engineering*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2015.
- WHITE, B.; LARUSSON, J. A. Identifying points for pedagogical intervention based on student writing: Two case studies for the “point of originality”. In: *Learning Analytics*. [S.l.]: Springer, 2014. p. 157–190.
- WILEY, D. A. *Instructional use of learning objects*. [S.l.]: Agency for Instructional Technology, 2001.
- ZORRILLA, M. E.; ÁLVAREZ, E. Matep: Monitoring and analysis tool for e-learning platforms. In: IEEE. *2008 Eighth IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies*. [S.l.], 2008. p. 611–613.

“Bela, Recatada e do Lar”: Base de Dados e Aspectos do Movimento Social Ocorrido na Rede Social Online Twitter

Marcela Mayumi Mauricio Yagui, Luís Fernando Monsores Passos Maia, Wallace Ugulino, Adriana Vivacqua, Jonice Oliveira

Programa de Pós-Graduação em Informática da Universidade Federal do Rio de Janeiro (PPGI/UFRJ) – RJ – Brasil

{marcelayagui, luisfmpm}@ufrj.br, ugulino@ppgi.ufrj.br, {avivacqua, jonice}@dcc.ufrj.br

Abstract. *Between April and May 2016 a virtual mass protest was observed in response to the publication of an article in a Brazil-wide distributed magazine. The present research consisted in the construction of a dataset on the messages published in the Online Social Network Twitter aiming at supporting researchers in the field of Opinion Mining by providing of a corpus of messages in Portuguese language. In addition to the dataset, which was characterized by techniques of Social Network Analysis, Sentiment Analysis techniques were applied with support from the Naive Bayes probabilistic algorithm to check the tweets' polarity.*

Resumo. *Entre Abril e Maio de 2016 um protesto virtual em massa foi observado como resposta à publicação de uma matéria em uma revista de circulação nacional. A presente pesquisa consistiu na construção de uma base de dados relativa às mensagens publicadas na Rede Social Online Twitter com o objetivo de apoiar pesquisadores da área de Mineração de Opiniões por meio da oferta de um corpus de mensagens em língua portuguesa. Além da base de dados, que foi caracterizada por meio de técnicas de Análise de Redes Sociais, foi aplicada a técnica de Análise de Sentimentos com o auxílio do algoritmo probabilístico Naive Bayes para verificar a polaridade dos tweets.*

1. Introdução

As Redes Sociais Online (RSO) foram usadas de maneira marcante nos últimos eventos políticos do mundo. No Brasil, os cidadãos têm manifestado suas posições na internet por meio das RSO e há uma crescente polarização entre ideologias que está registrada nessas redes de forma não-estruturada: usuários se expressam em linguagem natural escrita, em fotos com mensagens, em charges de humor, entre outras formas de manifestação social online [Carvalho et al. 2016].

As interações sociais registradas nas RSO representam uma oportunidade de compreender melhor os movimentos sociais, suas ações e reações. As aplicações desse conhecimento são diversas e serviram de motivação para o surgimento de novas áreas de pesquisa, como a área da Mineração de Opiniões e da Análise de Sentimentos. O registro dessas interações, entretanto, é influenciado pela cultura do grupo social, sua língua, expressões linguísticas locais, entre outras características únicas de cada região que tornam o trabalho de mineração ainda mais desafiante. Uma revisão da literatura da área e uma discussão sobre trabalhos relacionados é apresentada na Seção 2.

Com o objetivo de gerar conhecimento sobre técnicas de mineração úteis para o contexto brasileiro, no presente trabalho foram coletadas mensagens postadas na RSO Twitter[®], no período de 22/Abril até 03/Maio de 2016. Foram selecionadas as mensagens marcadas com a etiqueta (*hashtag*) #BelaRecatadaEDoLar ou que continham a mesma *string*. A etiqueta foi usada por muitos usuários do Twitter para posicionar-se em relação à uma matéria publicada em revista de circulação nacional.

Nesse trabalho buscou-se contribuir com a geração de uma base de dados comum para comparação de modelos por pesquisadores que atuem em mineração de opiniões a partir do Twitter. Na Seção 3 discute-se o procedimento adotado nessa pesquisa. Na Subseção 3.1 é apresentado o trabalho de análise de sentimentos realizado com o algoritmo Naïve Bayes. Obteve-se uma acurácia de 81% com o uso do ‘*bag of words*’ como elemento de entrada. As subseções 3.2 (análise da rede de *retweets*) e 3.3 (nuvem de palavras) servem para caracterizar a base de dados. Uma discussão sobre esses dados é apresentada na subseção 3.4. Conclusão e Trabalhos Futuros são discutidos na Seção 4.

2. Revisão da Literatura

A mobilização das multidões virtuais em RSO é um fenômeno que vêm sendo estudado com o objetivo de prever comportamentos, eventos e acontecimentos [Bonabeau 2004]. Esse tipo de conhecimento tem potencial de aplicação em várias áreas, como política, comunicação, marketing científico e até marketing pessoal [Li and Li 2011] - um bom exemplo é a emergente fama dos sociólogos e filósofos regionais que veio a reboque da exposição online dos mesmos nessas redes sociais. Numa investigação desse tipo, é fundamental que as características locais sejam levadas em consideração: acontecimentos e notícias que afetam o grupo em estudo, a linguagem usada pelo grupo, o uso de figuras emblemáticas e bordões. Muitas dessas características podem ser difíceis de serem medidas de forma objetiva [Carvalho et al. 2016].

A Mineração de Opiniões é uma área de pesquisa dedicada à geração de conhecimento sobre como extrair, analisar e comparar dados objetivos a partir dos dados (geralmente) semiestruturados, registrados nesses sistemas. As técnicas de mineração de dados e aprendizagem de máquina são empregadas largamente com o objetivo de perceber padrões latentes nessa interação [Elmasri and Navathe 2005].

O conhecimento do domínio de aplicação, no entanto, é um fator importante na hora de projetar esses modelos de predição baseados em dados semiestruturados. Dessa forma, a pesquisa em mineração de opiniões distingue-se das demais pesquisas em mineração de dados especialmente pelas características próprias das redes e da aplicação do conhecimento dessas características na hora de montar e aprimorar o modelo preditivo [Marteleto 2001].

Outra vertente que surgiu da mineração de opiniões recentemente é a análise de sentimentos [Sarlan et al. 2014], que refere-se à ampla área da mineração de texto, processamento de linguagem natural e linguística computacional que envolve o estudo computacional e semântico dos sentimentos, opiniões e emoções expressados em textos. Este tipo de mineração permite detectar se uma opinião expressa em um texto é positiva, negativa ou neutra. Ela também permite detectar emoções características como felicidade, tristeza ou raiva. A análise de sentimentos vem se tornando rapidamente uma das áreas do processamento de linguagem natural mais investigada nos últimos anos.

O Twitter se tornou bastante popular na realização deste tipo de análise por seu formato único e característico de *microblog*, que permite o envio e compartilhamento de mensagens de texto, imagens e vídeos rapidamente e através de uma rede de milhões de usuários, mas excepcionalmente, por permitir mensagens de texto de, no máximo, 140 caracteres. Isso é determinante no modo como as pessoas se expressam na rede e facilita o trabalho de mineração e reconhecimento de padrões [Carvalho et al. 2016].

Neste sentido, diversos estudos vêm sendo realizados com foco na análise de sentimentos para classificar emoções na plataforma Twitter. Um dos trabalhos pioneiros foi o de Davidov *et al.* (2010), onde uma análise de sentimentos foi realizada por meio da classificação de *tweets* com base em *hashtags* para separar as categorias desejadas, e nos *emoticons* contidos nas mensagens de texto, que auxiliaram no treinamento do algoritmo classificador, entre outros fatores que foram usados na extração de sentimentos, como a pontuação e *strings* que formavam palavras-chave.

A classificação de *tweets* em polaridades também já foi previamente estudada por Pak & Paroubek (2010) que aplicou o algoritmo de classificação probabilístico Naïve Bayes para realizar o procedimento. No estudo de Ferreira (2012), o modelo preditivo montado com o classificador Naïve Bayes obteve o melhor desempenho na tarefa de análise de textos em português. Os resultados obtidos com o uso de Naïve Bayes na área são encorajadores, especialmente em função da simplicidade do modelo.

Outro estudo importante de ser mencionado é o de Nascimento *et al.* (2012), no qual é possível observar a polaridade de sentimentos da população em relação às notícias divulgadas pela mídia. Foram selecionados previamente três tópicos em português para a coleta de dados; em seguida, os autores realizaram a rotulação manual do conteúdo para analisá-lo através do emprego de três métodos, um deles, sendo o Naïve Bayes. Novamente, Naïve Bayes teve melhores resultados que os demais modelos avaliados.

Outra forma de estudar as RSO diz respeito aos recursos de análise que mapeiam as relações sociais em estruturas de grafo. Por meio deste mapeamento, é possível representar nós e suas conexões que, por intermédio da aplicação de técnicas e algoritmos já consolidados na área de teoria dos grafos, dão indícios do comportamento, da influência e da propagação de informações dentro de uma comunidade específica. Este tipo de mapeamento é conhecido como Análise de Redes Sociais (ARS) e também é bastante difundido em estudos envolvendo a RSO Twitter [Marteletto 2001].

Um exemplo recente do emprego de ARS no Twitter é encontrado no trabalho de Willis *et al.* (2015), no qual foram coletados *tweets* relacionados aos Jogos Olímpicos de Londres de 2012. Por meio do uso de técnicas de ARS e de correlações estatísticas, foram calculadas métricas como o *Betweenness* e *Pagerank* para identificar o comportamento de clusters sociais formados durante o evento. Enquanto perfis corporativos moldaram a rede e afetaram a sua conectividade, perfis pessoais aumentaram as interações e discussões na rede, o que mostrou-se importante para a identificação de usuários chave e seu engajamento com o público dos Jogos Olímpicos.

A criação de redes de *retweets* foi também explorada no trabalho de Weitzel & Oliveira (2012). Com base em *tweets* do domínio da saúde, os autores analisaram a rede sob a perspectiva da estrutura topológica e de redes ego dos usuários, como também investigaram o mecanismo de classificação dos nós baseados nos pesos dos *retweets*. Por meio de métricas de centralidade, eles concluíram que medidas como o *Pagerank*

indicam a popularidade de um usuário e medidas como o *Betweenness* indicam a posição chave de um nó dentro da rede.

Na presente revisão, verificou-se o recorrente uso de algumas técnicas de ARS para identificação de perfis influentes na RSO Twitter por meio de análises de redes de *retweets*. Há destaque especialmente para investigação da correlação entre as métricas *Betweenness* e *Pagerank*. Já no campo da análise de sentimentos, os resultados com Naïve Bayes têm sido particularmente encorajadores, uma vez que tem se mostrado mais eficaz quando empregado na análise de textos pequenos como os encontrados no Twitter.

3. Procedimento de Pesquisa

O presente trabalho é contextualizado no protesto virtual online "bela, recatada e do lar", especificamente nas manifestações ocorridas no Twitter. No trabalho, buscou-se identificar se (e quais) perfis tiveram mais influência durante o movimento. Foi também investigada a relação temporal entre eventos ocorridos durante as manifestações e eventuais mudanças na frequência de postagens. Para essa investigação, as seguintes questões de pesquisa foram formuladas: (i) Quais perfis tiveram mais influência no movimento "bela, recatada e do lar"?; (ii) Qual foi a opinião e os sentimentos observados pelos usuários em relação ao movimento orquestrado na RSO Twitter? e (iii) Quais foram os tópicos mais comentados durante o movimento?

Para investigar a relação entre eventos ocorridos e o comportamento das postagens com a *hashtag* #BelaRecatadaEDoLar, foram coletadas notícias divulgadas em diversos jornais e *blogs*. O objetivo foi investigar se há uma relação entre as publicações da mídia e o volume de mensagens postadas, especialmente picos e declínios no volume. Para essa investigação foram selecionados dois eventos distintos, um a favor do movimento "bela, recatada e do lar", e outro contra.

No dia 23/04, grupos de mulheres se mobilizaram contra a imposição do padrão "bela, recatada e do lar" e protestaram em Brasília numa clara demonstração de apoio ao movimento feminista no Twitter. No dia 25/04, a esposa de um conhecido pastor brasileiro se manifestou contra o movimento feminista no Twitter, lançando uma campanha contra o movimento feminista (e a favor da posição conservadora expressa na matéria da revista). O fato, porém, só ganhou notoriedade da mídia ao final do dia 27/04, ganhando publicidade na internet a partir do dia 28/04 (dia selecionado para o segundo evento). Na Figura 1 é possível observar dois picos na distribuição. Esses picos correspondem às datas em que ocorreram os dois eventos mencionados anteriormente, o protesto feminista em 23/04 e a divulgação em noticiários online de uma campanha a favor do estereótipo conservador em 28/04.

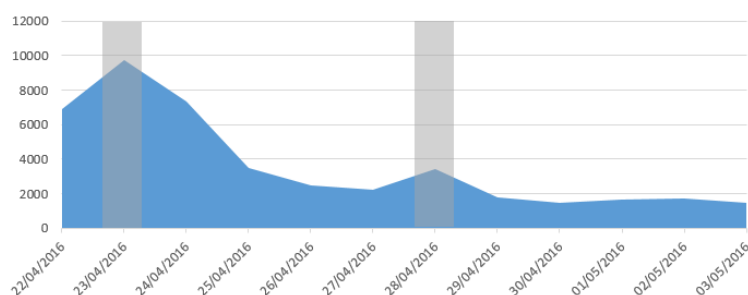


Fig. 1. Volume de *tweets* por dia com as datas dos eventos marcadas

Na primeira fase da pesquisa, foi realizada a coleta de dados, o pré-processamento e o etiquetamento manual. Foram coletadas postagens da RSO Twitter entre os dias de 22 de abril a 03 de maio. A coleta foi iniciada quatro dias após o início da manifestação virtual e encerrou-se após a constatação de que o movimento já havia atingido sua massa crítica e estava perdendo força e alcance (conforme o que pode ser observado na Figura 1). O pré-processamento consistiu na limpeza dos dados: fixou-se o idioma como "Português" e foram excluídas as mensagens em outras línguas. Além disso, foram eliminados caracteres especiais, pontuações e *stop words*. Como resultado, foi criada uma base com 43.647 mensagens em Português relacionadas ao movimento virtual "Bela, Recatada e do Lar". Para a realização dessa coleta foi usada a ferramenta Node-Red, do serviço Bluemix da IBM.

Ainda no pré-processamento, uma amostra aleatória de 1500 mensagens foi selecionada e anotada manualmente com uma das 3 etiquetas: 'positiva', 'neutra', 'negativa'. Das 1500 postagens etiquetadas, 523 foram positivas, 424 negativas e 553 neutras. A etiqueta qualifica a reação do autor da mensagem em relação ao movimento de protesto. Portanto, as mensagens etiquetadas como 'positivas' são aquelas que exprimem concordância com o protesto (e, por consequência, discordância da matéria original da revista). As mensagens cujo teor estava em desacordo com o movimento foram etiquetadas como 'negativas'. A produção e disponibilização dessa base de dados constitui a principal contribuição do presente trabalho.

Com relação à distribuição geográfica dos *tweets* coletados, apenas 1548 (3,54%) estavam georreferenciados, estando distribuídos em 460 cidades. O número baixo ocorre porque para serem georreferenciados, os *tweets* precisam ser publicados por meio de um dispositivo equipado com um receptor de sinal GPS e o recurso de localização, que consome bateria, deve estar ligado para ocorrer a marcação.

Na segunda parte da pesquisa, foi realizado o treinamento e teste de um modelo preditor feito que utiliza o algoritmo probabilístico Naïve Bayes, relatado em detalhes na Subseção 3.1, com o objetivo de definir uma linha de base para comparações futuras. A terceira parte da pesquisa foi focalizada em analisar os aspectos do referido movimento ocorrido na RSO, conforme detalhado nas Subseções 3.2 (análise da rede de *retweets*) e 3.3 (Nuvens de Palavras). Na sequência, na Subseção 3.4 são discutidos os resultados das análises.

3.1. Análise de Sentimentos

Para essa etapa foi usada uma implementação do algoritmo probabilístico Naïve Bayes em linguagem Python (versão 2.7). A estratégia de treinamento consistiu em usar a técnica de '*bag of words*' como elementos de entrada de dados. O modo de teste escolhido consistiu em separar um 1/3 das mensagens anotadas para a etapa de testes, deixando 2/3 das mensagens anotadas para treinamento.

O uso de "*bag of words*" com Naïve Bayes teve o objetivo de gerar uma medida de desempenho de base para comparação de resultados por outros pesquisadores. A simplicidade da implementação do Naïve Bayes e do '*bag of words*' (ambos bem documentados na literatura) possibilitam que o estudo seja mais facilmente reproduzido por outro pesquisador, o que também contribuiu na nossa decisão a respeito do uso desse algoritmo para a demarcação da *baseline* de desempenho.

Foi observada uma acurácia de 81% na classificação. O resultado é animador, uma vez que o índice de acerto humano, cuja capacidade de análise da subjetividade de um texto oscila entre 72% e 85% [Wiebe et al. 2005]. Finalmente, após a etapa de aprendizado do algoritmo foi realizada a classificação automática de todos os 43647 *tweets* da base de dados.

3.2. Análise da Rede de *retweets*

Para a construção da rede de *retweets* foi usado o *software* Gephi, que possibilita a realização de análise de redes com grande volume de dados e que oferece recursos para filtragem, manipulação e personalização de grafos. Além disso, há várias extensões que ampliam a capacidade de exploração e análise de dados [Bastian et al. 2009].

Um grafo não direcionado de *retweets* foi criado a partir dos dados coletados. Sua composição corresponde a 21246 nós e 20026 arestas. As métricas de centralidade *Degree*, *Betweenness* e *Pagerank* [Barrat et al. 2008] foram calculadas com o objetivo de investigar a influência de usuários na rede completa.

No contexto deste trabalho, o *Degree* equivale ao número de vezes que o *tweet* de um usuário foi compartilhado. Deste modo, quanto mais um perfil foi retweetado, maior sua importância na rede. Para o *Betweenness*, os usuários que apresentam os maiores valores têm maiores probabilidades de influenciar outros usuários próximos a eles. A partir disso é possível compreender como a informação flui através da rede e quais são os perfis que ligam comunidades. Para o *Pagerank*, os nós que apresentam os valores mais altos podem ser considerados usuários-chave da rede porque outros usuários importantes interagem com eles. Ou seja, é provável que esses usuários sejam altamente ativos na RSO e possivelmente são reconhecidos como perfis importantes por outros usuários. Para o cálculo de *Pagerank* deste trabalho, foi considerado que a probabilidade (p) de um usuário acessar uma página aleatória na web é de 0,85, onde p é um fator de amortecimento que varia entre 0 e 1, usualmente definido como 0,85 [Brin and Page 1998]. A Tabela 1 representa os 10 principais usuários e suas métricas.

Tabela 1. Métricas da rede completa

Usuário	Degree	Usuário	Betweenness	Usuário	Pagerank
BolsonaroZuero	454	andandrea	0.1752	BolsonaroZuero	0.0086
ClaudiaLeitte	392	Leo_oguarda	0.0661	ClaudiaLeitte	0.0080
Antioniotabet	374	gordaopvcs	0.0589	Gordaopvcs	0.0072
Gordaopvcs	351	gifsdegatinhos	0.0499	Antioniotabet	0.0072
Frasesdebebedas	340	BolsonaroZuero	0.0438	frasesdebebedas	0.0071
MidiaNINJA	284	antioniotabet	0.0430	Leo_oguarda	0.0054
Leo_oguarda	264	MidiaNINJA	0.0408	HugoGloss	0.0050
HugoGloss	237	maarinolasco	0.0404	MidiaNINJA	0.0049
Luscas	224	luscas	0.0383	iLovePut*****	0.0047
iLovePut*****	222	nadiardgs	0.0368	Falandocarioca	0.0046

Segundo Willis *et al.* (2015) os usuários-chave de um movimento podem ser inferidos a partir da correlação entre duas métricas (no caso desta pesquisa usamos *Betweenness* e *Pagerank*). A Figura 2 ilustra o diagrama de dispersão construído a partir das métricas *Betweenness* (eixo x) e *Pagerank* (eixo y). Cada ponto representa um perfil que está entre os 60 mais retweetados. Cada um dos quatro quadrantes do diagrama possui uma interpretação particular que define como cada usuário exerce sua influência: (i) o quadrante inferior esquerdo possui usuários comuns, pois os perfis nele contidos tendem a possuir nenhum papel específico; (ii) o quadrante superior esquerdo possui usuários que, provavelmente, exercem influência iniciando discussões e compartilhando

tweets que os outros vão compartilhar. Isso se justifica pois eles tendem a estar localizados em um dos núcleos da rede; (iii) o quadrante inferior direito abriga usuários que são importantes para uma determinada comunidade/público, pois são considerados pontes entre a produção de conteúdo e o público no qual está se conectando; (iv) e finalmente, o quadrante superior esquerdo possui usuários que apresentam as características de (ii) e (iii) combinadas. São perfis raros e indicam uma forte influência na comunidade.

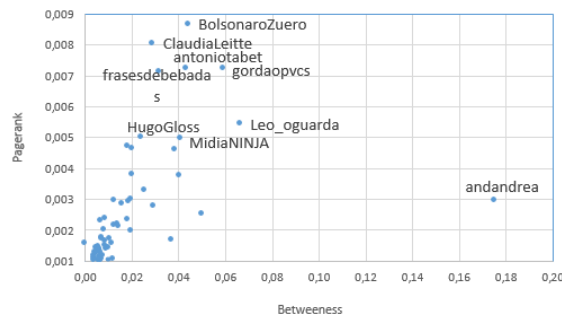


Fig. 2. Diagrama de dispersão da rede completa

Ainda na Figura 2, é possível identificar os usuários-chave do movimento. O perfil @andandrea é o único que se encaixa no item (iii) indicando sua influência dentro de comunidades específicas. Já os perfis @BolsonaroZuero, @ClaudiaLeitte, @antoniotabet, @gordaopvcs, @frasesdebebadas, @HugoGloss, @Leo_oguarda e @MidiaNINJA possuem características do item (ii) e representam usuários influentes com relação à publicação de conteúdo.

3.3. Construção de Nuvens de Palavras

A construção de nuvens de palavras foi realizada com o auxílio do *software* de mineração de dados Knime [KNIME 2017], que foi utilizado para criar nuvens de palavras por meio do processamento de grande volume de texto contido nos *tweets*.

O processo de criação de nuvens de palavras inicia com a inserção dos *tweets* no banco de dados MySQL. A partir disso, os dados são lidos, renomeados e carregados no módulo 'Text Processing', que processa e transforma o texto dos *tweets* (Figura 3).

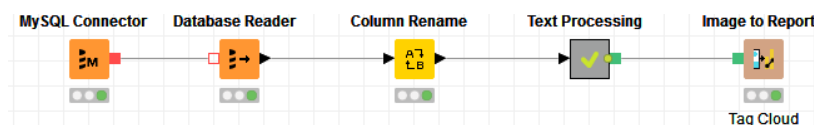


Fig. 3. Processo de criação de nuvens de palavras

Para disparar o processamento do texto, cada *tweet* foi transformado em vetores de documentos de texto associados a identificação de cada linha. Após a transformação, o processo executa o módulo 'Extract Hashtags'. Nesse módulo, as *hashtags* são buscadas nos documentos por meio de uma expressão regular definida previamente. Após a busca, as *hashtags* são filtradas e inseridas em uma 'bag of words' em conjunto com o documento relacionado a elas. O processo continua com o cálculo da frequência de termos relativos (TF) das *hashtags* contidas em cada documento e insere uma nova coluna que contém o valor do TF. Após o cálculo do TF, as *hashtags* semelhantes são contadas e ordenadas de forma decrescente. Logo após a ordenação, são filtradas as 10 *hashtags* mais populares. As *hashtags* são transformadas em *strings* e o processo

retorna a imagem da nuvem de palavras com as *hashtags* mais tweetadas. Foram criadas nuvens correspondentes ao movimento completo e aos dias dos eventos (23/04 e 28/04).

A Figura 4(a) ilustra a nuvem criada com as *hashtags* mais usadas no movimento. Elas se destacaram pela frequência de utilização, sendo usadas para identificar novos eventos secundários, o que pode ter sido um fator decisivo para influenciar no conteúdo e volume dos *tweets*. A *hashtag* #SOSCoup foi um movimento contra o processo de impeachment de Dilma Rousseff. Já a #BTSisonFIRE se refere ao lançamento do videoclipe da música *Fire* da banda sul-coreana BangTan Boys. #askmagcult é uma *hashtag* que indica a produção de perguntas a serem respondidas em um evento chamado Magcon. #LEMONADE está relacionado ao lançamento do sexto álbum da cantora Beyoncé. Outra tendência é #VEDA, que significa “*Vlog Everyday in April*”, ou seja, ao usar a *hashtag*, cada vlogueiro se compromete em publicar um vídeo por dia no mês de abril. #METGala é um evento anual de arrecadação de fundos para o Museu de Artes Metropolitan de Nova York que reúne diversas celebridades e artistas da atualidade. Outras *hashtags* relacionadas ao movimento “bela, recatada e do lar” também se destacaram, como: #bela, #recatada e #mulhernaogostadehomemque.

Na nuvem do dia 23/04, Figura 4(b), as seguintes *hashtags* se destacaram: #DemiteoZehdeAbreu, que refere-se à cusparada do ator Zé de Abreu em casal após uma discussão sobre política em um restaurante de São Paulo. A partir disso, vários usuários do Twitter se manifestaram contra o ator através da *hashtag*. #EtaMundoBom, que refere-se à uma novela brasileira bastante popular. #youngmaland, *hashtag* popular na RSO Instagram e que refere-se a *selfies*, principalmente de *cosplay*, tiradas no parque temático sul-coreano Youngma Land. As *hashtags* #vejamachista, #bela e #recatada estavam relacionadas ao movimento e foram alvo de *tweets* publicados.

No dia 28/04, Figura 4(c), as *hashtags* #VEDA e o perfil do jornal #OGlobo foram mencionados, além das *hashtags* relacionadas ao tema: #veja, #mulherperfeita, #MENTIRA, #feminista, #luta e #marcelatemer. Além disso, a *hashtag* #sqn (só que não) também se destacou durante todo o período analisado, demonstrando um indício de sarcasmo nos *tweets* relacionados ao padrão social defendido na matéria da revista.



Fig. 4. Nuvens de palavras (a) rede completa, (b) dia 23/04 e (c) dia 28/04

3.4. Discussão

A série temporal de frequências diárias de *tweets* indica uma diminuição progressiva no ritmo das postagens com o passar do tempo. No entanto, pode-se observar que dois eventos principais ocorreram nos dias de pico no volume de *tweets* (23/04 e 28/04). Por

meio da análise das *hashtags* publicadas no movimento e nos dias dos picos de volume de *tweets*, foi possível identificar que diversos eventos secundários geraram impacto no volume de *tweets*. Deste modo, existem fortes indícios de que diversos eventos menores podem gerar impactos em movimentos populares orquestrados em RSO.

Por meio da correlação das métricas de centralidade *Betweenness* e *Pagerank*, foi possível identificar os usuários que mais influenciaram o movimento “Bela, recatada e do lar”. Dentre esses usuários, um exerce influência dentro de comunidades específicas e oito possuem características de influência relacionadas à publicação de conteúdo.

Por meio da observação dos *tweets* mais compartilhados no movimento, também foi possível verificar que não há correlação desses *tweets* com os eventos principais identificados anteriormente. Manifestações populares em RSO como o Twitter são difíceis de serem estudadas e compreendidas, pois tendem a perder força e alcance rapidamente na ausência de fatos e eventos que “impulsionem” o movimento.

Por fim, após classificar a base de dados em relação ao posicionamento do autor (81% de acurácia), observou-se que as mensagens mais frequentes foram de posicionamento neutro (39%). Em seguida, os posicionamentos mais frequentes são de apoio ao movimento feminista (positivo, 35%) e - por fim - o posicionamento contrário à manifestação é menos frequente (26%). Entre as mensagens neutras, verificou-se que grande ocorrência da republicação de notícias online sem emissão de opinião pelo usuário que as compartilha.

4. Conclusão e Trabalhos Futuros

No presente artigo é oferecido à comunidade um novo *dataset* de mensagens em língua portuguesa da RSO Twitter. O *Dataset* foi manualmente anotado e uma linha de base de desempenho foi demarcada com o uso de Naïve Bayes. Como resultado, foi possível compreender melhor a atuação dos usuários, as relações existentes entre os movimentos populares em RSO e as opiniões expressadas pelos usuários.

Com base nos resultados obtidos foi possível analisar os perfis que influenciaram grupos distintos de usuários e os perfis que geraram os tópicos de maior discussão de conteúdo, que foram identificados por meio da seção de análise da rede de *retweets*. Também foi possível observar que eventos secundários ocorridos durante o movimento social aparentemente geraram oscilações no volume de mensagens, fato corroborado na seção de nuvens de palavras. Além disso, entre as opiniões emitidas pelos usuários observou-se a maioria de neutros (39%), seguidos de positivos (35%) e negativos (26%). O presente estudo também indica que a aplicação de técnicas de ARS, de mineração de dados e de análises estatísticas podem ser usadas para identificar padrões de comportamentos em manifestações populares nas mídias sociais.

Para trabalhos futuros espera-se criar a rede de *retweets* com arestas direcionadas. Considera-se também a inclusão das categorias sarcasmo e de *emojicons* para auxiliar na criação de conjuntos mais eficazes de treino e testes.

Referências Bibliográficas

Barrat, A., Barthélemy, M. and Vespignani, A. (2008). *Dynamical Processes on Complex Networks*. Cambridge University Press.

- Bastian, M., Heymann, S., Jacomy, M. and Others (2009). Gephi: an open source software for exploring and manipulating networks. *Proceedings of the Third International ICWSM Conference*, v. 8, p. 361–362.
- Bonabeau, E. (2004). The perils of the imitation age. *Harvard Business Review*, v. 82, n. 6, p. 45–54.
- Brin, S. and Page, L. (1998). The anatomy of a large-scale hypertextual web search engine. *Computer networks and ISDN systems*, v. 30, n. 1, p. 107–117.
- Carvalho, C. de S., De França, F. O., Goya, D. H. and De Camargo Penteadó, C. L. (2016). The People Have Spoken: Conflicting Brazilian Protests on Twitter. In *Proceedings of the 2016 49th Hawaii International Conference on System Sciences*.
- Davidov, D., Tsur, O. and Rappoport, A. (2010). Enhanced sentiment learning using twitter hashtags and smileys. In *Proceedings of the 23rd international conference on computational linguistics: posters*. Association for Computational Linguistics.
- Elmasri, R. and Navathe, S. B. (2005). *Sistemas de banco de dados*. 4. ed. São Paulo: Pearson Addison Wesley.
- Ferreira, M. da C. da S. (2012). Classificação Hierárquica da Atividade Económica das Empresas a partir de Texto da Web. Universidade do Porto.
- KNIME (2017). KNIME | About KNIME. <https://www.knime.org/about>, [accessed on Jan 6].
- Li, Y.-M. and Li, T.-Y. (2011). Deriving marketing intelligence over microblogs. In *Proceedings of the 44th Hawaii International Conference on System Sciences*.
- Marteletto, R. M. (2001). Análise de redes sociais: aplicação nos estudos de transferência da informação. *Ciência da informação*, v. 30, n. 1, p. 71–81.
- Nascimento, P., Aguas, R., De Lima, D., et al. (2012). Análise de sentimento de tweets com foco em notícias. In *Anais do Brazilian Workshop on Social Network Analysis and Mining (BraSNAM)*.
- Pak, A. and Paroubek, P. (2010). Twitter as a Corpus for Sentiment Analysis and Opinion Mining. In *Proceedings of the Seventh International Conference on Language Resources and Evaluation*.
- Sarlan, A., Nadam, C. and Basri, S. (2014). Twitter sentiment analysis. In *Proceedings of the 6th International Conference on Information Technology and Multimedia*.
- Weitzel, L., Quaresma, P. and De Oliveira, J. P. M. (2012). Measuring node importance on twitter microblogging. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Web Intelligence, Mining and Semantics*.
- Wiebe, J., Wilson, T. and Cardie, C. (2005). Annotating expressions of opinions and emotions in language. *Language resources and evaluation*, v. 39, n. 2, p. 165–210.
- Willis, A., Fisher, A. and Lvov, I. (2015). Mapping networks of influence: tracking Twitter conversations through time and space. *Participations: Journal of Audience & Reception Studies*, v. 12, n. 1, p. 494–530.

Gamificando o Portal para Novatos em Software Livre FLOSSCoach: *Insights* de uma Avaliação Preliminar

Carolina Toscani¹, Igor Steinmacher^{2,3}, Sabrina Marczak¹

¹ MunDDos - PUCRS — Porto Alegre, RS - Brasil

² DACOM - UTFPR — Campo Mourão, PR - Brasil

³ SICCS - NAU — Flagstaff, AZ - EUA

carolina.toscani@acad.pucrs.br

sabrina.marczak@pucrs.br, igorfs@utfpr.edu.br

Abstract. *OSS Projects depend on volunteers' contributions and need a continuous influx of newcomers for their sustainability. However, newcomers face many barriers when making their first contribution. In a previous work, a web-based portal called FLOSSCoach was proposed to support the first contribution of newcomers to Open Source Software Projects. The preliminary evaluation of the portal indicated that FLOSSCoach has played an important role in guiding newcomers and in lowering barriers related to the orientation and the contribution processes. Now we want to explore whether, and to what extent, gamification can be a means of supporting the newcomer's first contribution through the portal. Therefore, the goal of this work is to present the FLOSSCoach gamification proposal, which is illustrated in the form of wireframes as a first step to decide on the game elements choice. We also report on insights gathered in an initial evaluation of the proposed wireframes.*

Resumo. *Os projetos de Software Livre dependem de contribuições voluntárias e precisam da entrada contínua de novatos para sua sustentabilidade. Entretanto, é comum que os novatos enfrentem barreiras ao fazer sua primeira contribuição. Em um trabalho anterior, um portal web chamado FLOSSCoach foi criado para apoiar a primeira contribuição dos novatos neste tipo de projeto. Uma avaliação preliminar desse portal indicou que o FLOSSCoach desempenhou um papel importante na orientação dos novatos e na diminuição das barreiras relacionadas aos processos de orientação e contribuição. Baseado nos indícios iniciais, deseja-se entender o papel da gamificação no apoio da primeira contribuição de um novato usando o portal. Dessa forma, esse trabalho tem por objetivo apresentar a proposta de gamificação do FLOSSCoach, representada em formato de wireframes que ilustram o uso dos elementos de jogo selecionados. Também se apresenta os resultados de uma avaliação inicial dos wireframes.*

1. Introdução

Os projetos de Software Livre (SL) dependem de contribuições voluntárias e necessitam da entrada contínua de novatos para sua sustentabilidade [Park and Jensen 2009]. Novatos são aqueles desenvolvedores que recém iniciaram sua participação em um determinado

projeto de SL, podendo ter passado recentemente por uma primeira contribuição ou não terem ainda realizado contribuição alguma. A viabilidade e o sucesso desses projetos dependem, principalmente, das contribuições dos membros ativos, bem como a entrada e retenção de novatos [Lee et al. 2013].

As pesquisas relacionadas ao processo de entrada dos novatos examinaram a dinâmica que move colaboradores de SL, como, por exemplo, focando nas motivações para se tornar um membro [Schilling et al. 2012]; investigando formas de um desenvolvedor se transformar em membro central [Jergensen et al. 2011]; identificando indicadores para que um potencial novato se torne um colaborador de longo prazo [Zhou and Mockus 2012]; e listando barreiras enfrentadas por novatos que ainda não tiveram seu código aceito no repositório compartilhado do projeto, ou seja, ainda não realizaram a sua primeira contribuição [Steinmacher et al. 2014].

Steinmacher et al. (2016) conduziram um estudo sobre o portal web FLOSSCoach¹ (atualmente disponível como Software Livre²), no qual as barreiras enfrentadas por novatos foram consolidadas em um fluxo de contribuição em seções, que são “About”, “How to Start”, “Configure Workspace”, “Know the code” e “Send Contribution” com objetivo de auxiliar os novatos durante o processo de sua primeira contribuição. Também realizaram uma avaliação qualitativa com 65 estudantes de computação considerando esse perfil, como potenciais contribuintes em projetos de SL. O estudo mostrou que o portal desempenhou um papel importante na redução de barreiras relacionadas à orientação e aos processo de contribuição, embora não tenha sido eficaz na redução de barreiras técnicas.

Baseado nesses resultados, identificou-se a oportunidade de usar a gamificação como forma de auxiliar o processo da primeira contribuição de um novato no FLOSSCoach. A ideia principal da gamificação é a de motivar as pessoas trazendo uma abordagem diferente para atividades e tarefas regulares ou comuns. Isso se dá pelo uso de elementos de jogos no apoio ou como motivador para a realização de atividades.

Dessa forma, este estudo tem como objetivo apresentar o processo de gamificação do portal FLOSSCoach. Esse processo foi guiado baseado no trabalho de Marache-Francisco e Brangier (2013b), que sugere um conjunto de passos para a seleção dos elementos de jogo em um dado contexto. A gamificação do portal é ilustrada através de *wireframes*, uma técnica de prototipação de interfaces que tem como objetivo mostrar a estruturação dos elementos da interface sem a preocupação com o aspecto visual gráfico. O trabalho também relata os *insights* obtidos em uma avaliação preliminar dos *wireframes* propostos, através de entrevistas guiadas por questionário, como uma forma de identificar as escolhas dos elementos. Identificou-se que os elementos relacionados a Suporte a Tarefa estavam adequados mas que os relacionados a Atratividade e Motivação precisam ser reconsiderados.

Apresenta-se nas demais seções os conceitos necessários para o entendimento do estudo (Seção 2), a proposta de gamificação do FLOSSCoach (Seção 3) e os *insights* da avaliação preliminar da mesma (Seção 4), incluindo uma discussão sobre os resultados. Encerra-se o artigo com as considerações finais (Seção 5).

¹<http://flosscoach.com>

²<http://gitlab.com/flosscoach/flosscoach>

2. Referencial Teórico

Nesta seção serão apresentados o conceito de gamificação, alguns trabalhos relacionados de relevância e o Processo de Gamificação Marache-Francisco e Brangier (2013b).

2.1. Gamificação

Deterding et al. (2011) propuseram uma definição amplamente difundida de gamificação (do inglês *gamification*) como “o uso de elementos de jogos em um contexto não jogo”. Neste estudo eles também explicaram que a gamificação está relacionada a jogos, mas não é o mesmo que um jogo completo.

Hamari, Koivisto e Sarsa (2014) realizaram uma revisão de literatura sobre estudos empíricos em gamificação e concluíram que a gamificação fornece efeitos positivos, mas esses efeitos dependem muito do contexto em que a gamificação está sendo aplicada, bem como dos usuários que usam o sistema. Eles examinaram abordagens motivacionais, resultados psicológicos e comportamentais da gamificação, além dos contextos de gamificação e os tipos de estudos realizados nos sistemas gamificados. O estudo examina, ainda, o estado atual da pesquisa sobre o tema e aponta lacunas na literatura existente.

Singer e Schneider (2012) propuseram a gamificação de um sistema de controle de versão com o objetivo de encorajar estudantes a realizarem *commits* com maior frequência, usando um aplicativo de software social. A experiência foi com um *newsfeed* baseado na web, que apresenta um *feed* para cada equipe, com um *leaderboard* que mostra a contagem de *commits* para cada membro da equipe. Além disso, a ferramenta enviou um resumo semanal para cada aluno, com quantos *commits* foram feitos na semana anterior, e também, os *commits* dos membros. Eles conduziram um experimento com 37 alunos e o estudo revelou algumas ideias sobre o uso da gamificação na melhoria das práticas de engenharia de software, afirmando que os estudantes alegaram que a métrica usada - número de *commits* por pessoa - pode ser muito simplista e inútil.

Lotufo et al. (2012) investigaram o uso de elementos de jogos no *Stack Overflow*³ para aplicar em sistemas de rastreamento de erros, como forma de incentivar os membros da equipe a aumentar a frequência e a qualidade de suas contribuições. Eles aumentavam a reputação por boas contribuições, reduziam a reputação por contribuições precárias e concedendo privilégios aos usuários à medida que atingiram níveis de reputação. Eles usaram projetos de SL e descobriram que a maioria dos mecanismos são aplicáveis ao mesmo contexto.

Moccozet et al. (2013) propuseram uma comunidade *online* utilizando elementos de jogos para que os alunos melhorassem o trabalho de grupo entre eles. Para alcançar um objetivo comum, pessoas compartilhavam recursos de conteúdo em um espaço e usavam esses recursos. Todas as ações possíveis na plataforma são classificadas e recebem pontos. Eles analisaram os resultados de 2012, quando 244 alunos trabalharam na plataforma. Os resultados indicaram que a gamificação incentivou os alunos a contribuir e colaborar mais.

Outro exemplo é o trabalho de Diniz et al. (2017), que usou a gamificação para motivar alunos de graduação a contribuir com projetos de SL. No ambiente GitLab⁴, foram definidas regras de utilização de alguns elementos de jogos: *Quest*, *Rank*, Ponto e

³<https://stackoverflow.com/>

⁴<https://about.gitlab.com/>

Níveis – que foram utilizados para motivar os jogadores. Para avaliar os elementos, foi conduzido um estudo com 17 estudantes, utilizando um projeto de SL real. Os estudantes avaliaram sua experiência por meio de um questionário estruturado. As respostas mostraram que esses elementos de jogos podem motivar e apoiar novatos em projetos de SL. Principalmente, os elementos *Quest* e Ponto, que se mostraram adequados para auxiliar os novatos a superarem barreiras de falta de orientação e *feedback*.

Bogdan Vasilescu (2014) estudou como os aspectos humanos, gamificação e mídias sociais impactam na colaboração no desenvolvimento de SL. Ele verificou os históricos de atividades nos sistemas de controle de versão, rastreadores de problemas, listas de discussão e sistemas como GitHub⁵ e Stack Overflow. Os resultados preliminares indicaram que os desenvolvedores são, de fato, atraídos por ambientes sociais gamificados, como o oferecido pelo *Stack Overflow*, o acesso ao conhecimento especializado tem uma influência positiva na sua produtividade no desenvolvimento de SL.

Esses estudos anteriores exemplificam como a gamificação tem sido usada para motivar usuários a realizar tarefas e como a escolha dos elementos de jogos também é relevante. O processo da escolha dos elementos de jogos podem ser auxiliados por *frameworks*, processos ou métodos de gamificação. A próxima seção menciona alguns desses e destaca o processo adotado para apoiar a gamificação do FLOSSCoach.

2.2. O Processo de Gamificação de Marache-Francisco e Brangier

Mora et al. (2015) realizaram uma revisão da literatura para identificar o estado da arte em projetos de gamificação, analisar o relacionamento entre gamificação e o projeto de jogos, e identificar e classificar os *frameworks* ou métodos existentes por meio de cinco categorias, que são: Economia, Lógica, Mensurabilidade, Psicologia e Interação. Dezoito *frameworks* foram selecionados e divididos em dois tipos: *frameworks* com o propósito de engajamento com o contexto genérico e *frameworks* específicos para o contexto de negócio. Destes, são apresentados a seguir alguns dos *frameworks* genéricos que merecem destaque mencionados pelo autor, já que este trabalho se enquadra nesse contexto.

Werbach e Hunter (2012) propuseram o “*framework 6D*”, com duas etapas principais: a definição dos objetivos de negócio e o direcionamento dos comportamentos esperados. O *framework* “*Octalysis*”, proposto por Chou (2015), é centrado nas motivações humanas, sendo a abordagem baseada na forma de um octágono, no qual cada lado representa as características do usuário relevantes para a gamificação. O autor descreve dois fatores importantes para a gamificação: gerar uma sensação de realização e desenvolvimento para os usuários e incentivar os elementos sociais existentes em um ambiente. Já Aparício et al. (2012) propuseram um método de aplicação da gamificação como ferramenta de apoio à participação e motivação das pessoas na realização de atividades.

Marache-Francisco e Brangier (2013b) propuseram um processo de gamificação baseado em princípios de Interação Humano-Computador (IHC), com duas grandes etapas: *A Análise do Contexto* e a *Concepção Iterativa*. Os autores acreditam que a gamificação só pode ser eficiente se for projetada com base em uma boa compreensão de quem são os usuários (i.e., o perfil dos mesmos) e o contexto de uso. *A Análise do Contexto*, portanto, é um pré-requisito, as intenções ao se aplicar a gamificação devem

⁵<https://github.com/>

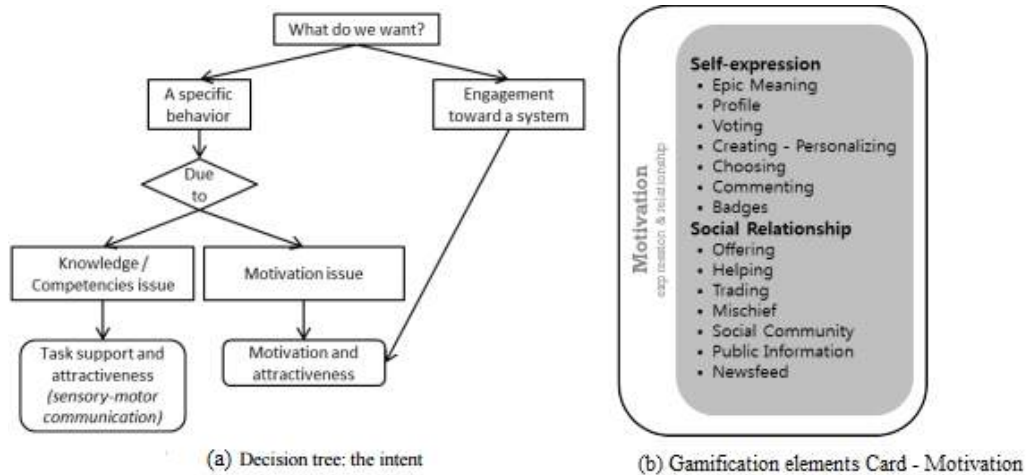


Figura 1. Árvores de Decisão para (a) Intenção e (b) Cartão com alguns dos elementos de Motivação. Fonte: [Marache-Francisco and Brangier 2013b]

ser analisadas e consideradas no contexto de uso, as atividades que precisam ser realizadas no ambiente, bem como o usuário que vai utilizá-lo. Para auxiliar estas decisões, este processo fornece uma caixa de ferramentas com um guia de análise de contexto para auxiliar o projetista durante essa fase. Este guia auxilia a identificar os objetivos que se deseja alcançar ao se aplicar a gamificação, as atividades que precisam ser realizadas no ambiente e também o entendimento de quem serão os usuários da ferramenta.

Na *Concepção Iterativa* é escolhida a experiência de gamificação que se deseja despertar no usuário. Para isso, são utilizados cartões de elementos de jogos, que foram identificados e avaliados em um estudo prévio [Marache-Francisco and Brangier 2013a], e as árvores de decisão. Os elementos estão organizados em três categorias: Atratividade, Suporte a Tarefa e Motivação. Os elementos da categoria Atratividade servem para gerar emoções positivas através da imersão em um universo de jogos, interações com o usuário e o uso de Surpresas. Os elementos de Suporte a Tarefa servem para a adaptação do usuário no ambiente, como níveis, modos e desbloqueios e, também, elementos para comunicação. Os elementos da categoria Motivação servem para criar o sentimento de auto-realização, auto-expressão e elementos persuasivos. As árvores de decisão servem para guiar na escolha dos elementos dentro das três categorias. O processo disponibiliza cinco árvores de decisão, que são para auxiliar na escolha dos elementos analisando a intenção ao usar a gamificação, para o tipo de tarefa, para motivar, incentivar elementos sociais e elementos para realizações. Na Figura 1 estão representadas uma árvores de decisão, a de Intenção e um cartão de elemento de gamificação, o de Motivação. A escolha desses elementos deve ser avaliada por meio do uso de protótipos de baixa-fidelidade, como *wireframes* e alta-fidelidade, como *mockups* e também, testes com os usuários.

3. A Proposta de Gamificação do FLOSSCoach

A longo prazo, esta pesquisa objetiva entender o papel da gamificação no apoio da realização da primeira contribuição de um novato em projetos de SL, quando o mesmo está usufruindo do portal FLOSSCoach para o auxílio nesse processo. Dessa forma, como um primeiro passo, este artigo apresenta a proposta de gamificação do FLOSSCoach

Tabela 1. Atividades dos Novatos no portal FLOSSCoach.

	Atividade
Perfil	Completar Perfil
	Pré-Registrar
Fórum	Perguntar
	Responder
Tarefas	Comentar
	Configurar Ambiente
	Escolher uma tarefa
	Submeter a Contribuição

segundo o processo definido por Marache-Francisco e Brangier (2013b). Apresenta-se também uma avaliação preliminar da proposta feita, discutida na Seção 4.

A presente seção apresenta o processo de gamificação do portal (Seção 3.1) bem como a proposta da gamificação em si (Seção 3.2), ilustrada por meio de *wireframes*. Escolheu-se o FLOSScoach [Steinmacher et al. 2016] uma vez que este portal já mostrou ser útil para apoiar novatos e que o mesmo está disponível sob licença livre (AGPL), permitindo a criação de uma versão gamificada. Além disso, o portal está estruturado de forma que as barreiras enfrentadas por novatos já foram previamente mapeadas no fluxo de contribuição. Sendo assim, nosso trabalho diz respeito a definir elementos de jogos a serem associados ao fluxo de contribuição do portal, fluxo este organizado em um conjunto de páginas pré-organizadas (denominadas seções), conforme detalhado a seguir.

3.1. O Processo de Gamificação

Seguindo o Processo de Gamificação [Marache-Francisco and Brangier 2013b], primeiramente foi realizada a *Análise do Contexto*, seguido da *Concepção Iterativa*. Na *Análise do Contexto* foram identificados os objetivos de se aplicar a gamificação em uma ferramenta, as atividades que precisam ser realizadas, conforme a Tabela 1, e também, o entendimento de quem são os potenciais usuários. Neste caso, deseja-se aplicar a gamificação para que os novatos realizem, principalmente, as tarefas auxiliando assim o processo de primeira contribuição. Os usuários, nesse caso, são estudantes de graduação, uma vez que estes são potenciais novatos em projetos de SL [Steinmacher et al. 2016].

Na *Concepção Iterativa* foram escolhidos os elementos, para isso, foram utilizados os cartões de elementos de gamificação e as árvores de decisão propostos pelo processo utilizado. O primeiro foco utilizado foram os elementos da categoria Suporte a Tarefas, cujo o objetivo é guiar o novato na realização das atividades no portal FLOSSCoach. Também foram selecionados elementos motivacionais (da categoria Motivação) para auxiliar o novato a continuar no processo de contribuição. Além disso, elementos da categoria Atratividade, para criar um universo imersivo de jogos, também foram selecionados. A escolha dos elementos nesta primeira etapa reflete o que os autores acreditam atender às necessidades do fluxo de contribuição.

Os elementos da categoria de Suporte a Tarefa utilizados para o portal foram o **Desbloqueio** e o **Significado Retórico**. O Desbloqueio das seções visa a adaptação do novato para que as informações sejam disponibilizadas sob demanda. Já o Significado Retórico são as dicas de como realizar atividades e alcançar objetivos no portal.

Tabela 2. Representação dos elementos que exigem ação e suas regras.

Elementos	Origem	Se o novato...
<i>Badge</i> Autobiográfico	Completar Perfil	completar o perfil no FLOSScoach.
<i>Badge</i> Desbravador	Registrar-se cedo	registrar-se no FLOSScoach em dd dias a partir de dd/mm/aaaa.
<i>Badge</i> Questionador	Perguntar	postar 1 pergunta no fórum do FLOSScoach.
<i>Badge</i> Questionador Bronze	Perguntar	postar XX perguntas no fórum do FLOSScoach.
<i>Badge</i> Questionador Prata	Perguntar	postar 1 pergunta no fórum externo do Projeto.
<i>Badge</i> Questionador Plus	Perguntar	postar XX perguntas no fórum externo do Projeto.
<i>Badge</i> Ajudante	Responder	responder 1 pergunta no fórum do FLOSScoach.
<i>Badge</i> Ajudante Bronze	Responder	responder XX perguntas no fórum do FLOSScoach.
<i>Badge</i> Ajudante Prata	Responder	responder 1 perguntas no fórum do FLOSScoach.
<i>Badge</i> Ajudante Plus	Responder	responder XX perguntas no fórum externo do Projeto.
<i>Badge</i> Entusiasta Bronze	Votar	votar em 1 post do fórum do FLOSScoach.
<i>Badge</i> Entusiasta Plus	Votar	votar em XX posts do fórum do FLOSScoach.
<i>Badge</i> Reputação Bronze	Receber votos	receber 1 voto positivo no Fórum do FLOSScoach.
<i>Badge</i> Reputação Prata	Receber votos	receber XX votos positivos no Fórum do FLOSScoach.
<i>Badge</i> Reputação Plus	Receber votos	receber YY votos positivos no Fórum do FLOSScoach.
<i>Badge</i> Comentarista	Comentar	comentar sobre o projeto no FLOSScoach e o comentário for aceito pelo moderador do Portal.
Desbloqueio 1 e <i>Badge</i> Bronze	Configurar Ambiente	responder a pergunta corretamente.
Desbloqueio 2 e <i>Badge</i> Prata	Escolher uma tarefa	escolher a 1 tarefa.
<i>Badge</i> Ouro	Submeter a Contribuição	submeter a primeira contribuição.
<i>Badge</i> Plus	Contribuição aceita	tiver a primeira contribuição aceita pelo projeto.
Dica	Clicar no ícone	clicar no ícone, dicas de como conquistar objetivos serão mostradas.
Tabuleiro	Avançar nas seções	avançar nas seções, o ícone troca de posição no tabuleiro.

Os elementos da categoria Motivação que foram selecionados foram: **Votação**, **Perfil**, **Comunidade Social**, **Ranking** e **Badges**. Os novatos terão um Perfil mostrando as suas atividades e conquistas e poderão personalizar este Perfil com a sua foto. Referente à **Comunidade Social**, os novatos terão um fórum para troca de conhecimento, que mostra quantas pessoas estão *online* no portal e, ainda, poderão votar nas perguntas e nas respostas. As postagens são ordenadas pelo maior número de votos positivos. Os novatos recebem votos para a reputação e o projeto possui um *Ranking* mostrando a colocação do novato perante outros novatos cadastrados no portal. Os *Badges* são conquistas do novato ao realizar as atividades do portal. O elemento da categoria de Atratividade foi **Sensório-Motor**, no formato de um tabuleiro, que mostra no fluxo de contribuição, a posição de qual seção o novato está visualizando no momento. A Tabela 2 apresenta os elementos de jogos que exigem alguma ação escolhidos para o portal FLOSSCoach, a origem que dispara a ação e as regras do processo de gamificação proposto.

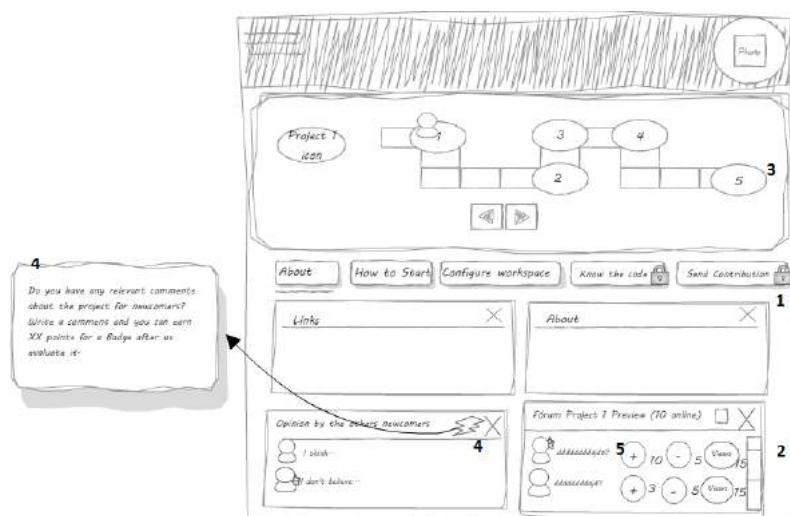


Figura 2. Wireframes da seção “About”

3.2. Wireframes para o portal FLOSSCoach

O *Wireframe* é uma representação gráfica da interface de baixa fidelidade que mostra onde devem estar localizados os elementos da interface (textos, imagens, objetos interativos, menu de navegação, etc.), ou seja, mostra a estruturação do conteúdo de cada tela, sem deter-se ao aspecto visual gráfico [Barbosa and Silva 2010]. Eles podem ser feitos manualmente ou com o auxílio de ferramentas gráficas. Neste trabalho, foi utilizada a ferramenta Cacao ⁶, no qual foram criados oito *Wireframes* para as telas, sendo eles: “About”, “How to Start”, “Configure Workspace”, “Know the code”, “Send Contribution”, “Profile”, “Ranking” e “Forum”.

A Figura 2 representa a seção “About”, em que diferentes elementos de jogos foram sugeridos: Desbloqueio, Significado Retórico, Sensorio-Motor e Comunidade Social. O Desbloqueio, representado na forma de um cadeado e mapeado com o número ‘1’, está bloqueando as seções “Know the code” e “Send Contribution”. O elemento de jogo Comunidade Social está representado por um *link* para um fórum do portal e mapeado com o número ‘2’. O Elemento de jogo “Sensorio-Motor” está representado por um tabuleiro e mapeado com o número ‘3’. O elemento de jogo Significado Retórico representado na forma de dicas e mapeado com o número ‘4’. Estão representados também os botões para as próximas seções, que são também os próximos passos do fluxo de contribuição. O elemento de jogo Votação está representado no fórum pelas opções de “+” e “-” e mapeado pelo número ‘5’. Estes elementos de jogos são sugeridos também nas seções: “How to Start”, “Configure Workspace”, “Know the code” e “Send Contribution”.

Na Figura 3 são mostradas os *wireframes* para as seções de “Know the code” e “Send Contribution” com os elementos de jogos sugeridos na Figura 2 e também o elemento *Badge*. Os *wireframes* para as seções “How to Start”, “Configure Workspace” já citados anteriormente por representarem os mesmos elementos de jogos. Os *Badges* são representados em forma de circunferências, mapeados com o número ‘6’, são atribuídos ao novato quando ele atinge algum objetivo no portal de acordo com as regras da Tabela 2. Nesta figura, abaixo do tabuleiro, está representado um *slider* que alterna entre o tabuleiro

⁶<https://cacao.com/>

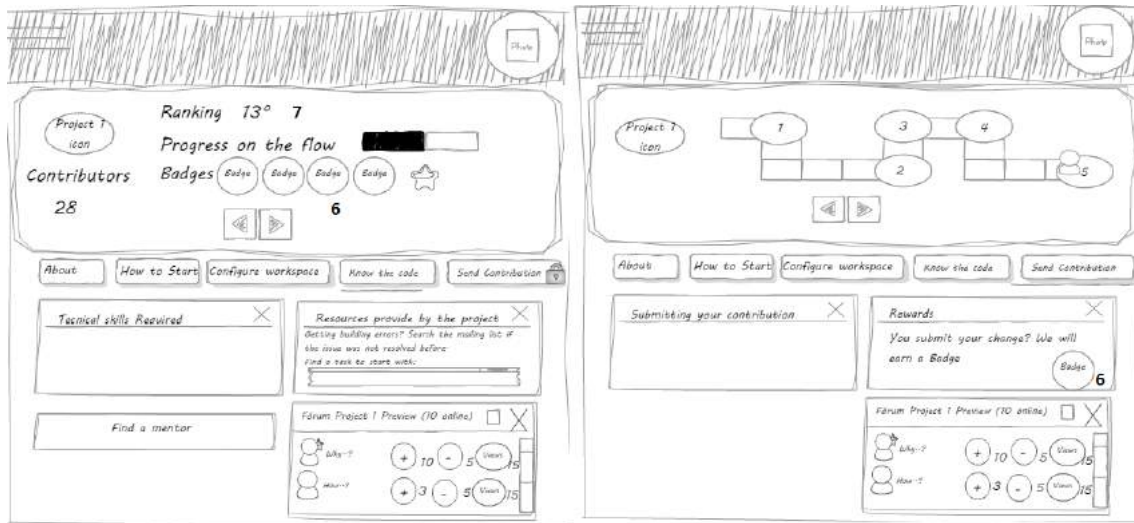


Figura 3. Wireframes das seções de “Know the code” e “Send Contribution”

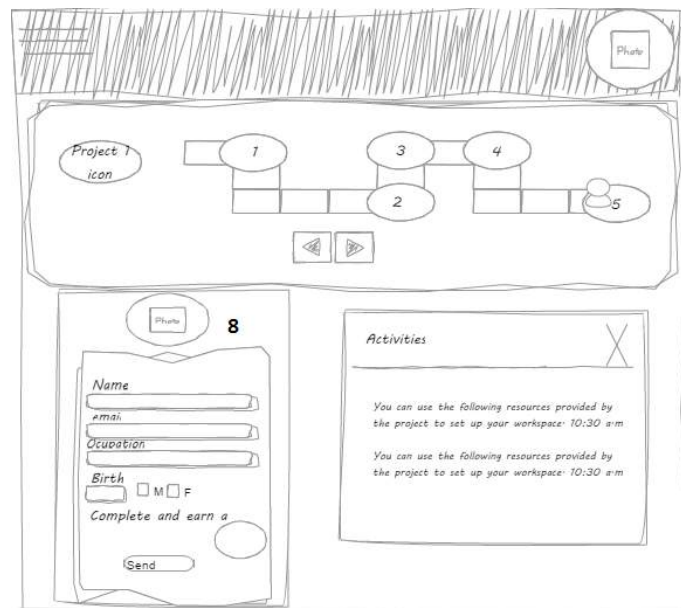


Figura 4. Wireframe da seção Profile

animado e um quadro com informações do usuário perante o projeto, como a posição no *Ranking* (número ‘7’), o progresso no fluxo de contribuição e as *Badges* conquistadas.

A Figura 4 representa a seção “Profile”. Os elementos de jogo sugeridos são Perfil e os *Badges*. No perfil editável, que está mapeado no número ‘8’, será possível alterar a foto e preencher com informações pessoais. O preenchimento das informações pessoais gera a conquista de um *Badge*, o Auto Biográfico (conforme Tabela 2).

Após a concepção dos *wireframes* do portal FLOSSCoach com a gamificação, foi realizada uma entrevista guiada por questionário com especialistas e novatos em projetos de SL, a fim de avaliar preliminarmente se a proposta poderia apoiar o processo de primeira contribuição, que é de apresentada na próxima seção.

Tabela 3. Principais questões do questionário.

	Questões
1	O elemento de jogo "Significado Retórico", representado na forma de dicas, está mostrando para os novatos como eles podem atingir seus objetivos, pode auxiliar na realização de tarefas e, assim, no processo de contribuição. (Escala Likert)
2	O elemento de jogo "Desbloqueio", representado na forma de um cadeado, que está desbloqueando as seções assim que os novatos realizam as tarefas, pode guiar os novatos no processo de contribuição. (Escala Likert)
3	O elemento de jogo "Sensor-Motor", está representado na forma de um tabuleiro animado, com as informações de qual sessão o novato está visualizando no momento, pode contribuir para que os novatos entendam o fluxo de contribuição. (Escala Likert)
4	O elemento de jogo "Ranking", está representado na forma de uma lista ordenada pelas últimas Badges alcançadas e a reputação do novato, pode contribuir para a motivação do novato em continuar no processo de contribuição. (Escala Likert)
5	O elemento de jogo "Comunidade Social", representado por um fórum do portal, onde os novatos podem trocar conhecimento e facilitar a comunicação entre os mesmos, pode contribuir para a motivação do novato em continuar no processo de contribuição. (Escala Likert)
6	O elemento de jogo "Votação", representado no fórum do portal como "+" e "-", para que o novato atribua votos para perguntas e respostas e, dessa forma alcance reputação, pode contribuir para a motivação do novato em continuar no processo de contribuição. (Escala Likert)
7	O elemento de jogo "Perfil", representado na forma de um perfil editável, pode contribuir para a motivação do novato em continuar no processo de contribuição. (Escala Likert)
8	O elemento de jogo "Badge", representado na forma de círculos, para que o novato visualize suas conquistas ao realizar tarefas e interagir com a comunidade, pode contribuir para a motivação dos novatos em continuar no processo de contribuição. (Escala Likert)
9	De forma geral, como você avalia os elementos de jogos propostos, como forma de auxiliar o novato a realizar a primeira contribuição para projetos de Software Livre? (Questão Aberta)

4. Avaliação Preliminar

A avaliação preliminar dos *wireframes* foi realizada por meio de entrevistas guiadas por questionário. O questionário continha questões abertas e fechadas, com perguntas referentes às percepções do entrevistado quanto aos elementos de jogos utilizados nos *wireframes*. A escala Likert de 5 pontos foi utilizada como opção de resposta nas questões fechadas, considerando 1 para Discordo totalmente, 2 para Discordo, 3 para Não concordo nem discordo, 4 para Concordo, e 5 para Concordo totalmente. Em cada questão havia um campo para o participante sugerir alguma melhoria e também, uma imagem que mostrava o *wireframe* com o elemento de jogo associado a questão.

Antes da realização da avaliação foram conduzidos dois teste-pilotos com pesquisadores brasileiros da área de Sistemas Colaborativos. Esta etapa foi importante para aprimorar as perguntas elaboradas. Depois de alguns ajustes, os questionários foram aplicados, conforme a disponibilidade dos participantes. Na Tabela 3 é apresentada as principais questões do questionário.

A avaliação preliminar ocorreu a partir de uma amostra por conveniência, composta por especialistas de domínio e novatos em projetos de SL. Ao total, nove pessoas participaram da pesquisa, sendo cinco especialistas na área de Sistemas Colaborativos, Gamificação ou IHC, e quatro novatos em projetos de SL. O primeiro contato com os participantes foi através de *e-mail*, no qual era feito o convite para a sua participação na pesquisa. Após o aceite, agendou-se a entrevista com o participante diretamente.

O procedimento de entrevista aconteceu da seguinte forma: primeiramente, o pesquisador responsável apresentou os conceitos relacionados a pesquisa, o motivo da realização dos testes e esclarecido o contexto; após, foi apresentado a todos os participan-

Tabela 4. Relação dos participantes da avaliação preliminar

Especialista	Gênero	Especialidade	Novato	Idade	Gênero	Quanto tempo faz, que você fez a sua primeira contribuição em projetos de Software Livre?
E1	M	Gamificação	N1	20	M	Mais de 12 meses.
E2	F	IHC, Gamificação	N2	21	M	6 a 12 meses.
E3	F	IHC, Gamificação, Sistemas Colaborativos	N3	21	M	1 à 3 meses.
E4	F	IHC	N4	23	F	6 a 12 meses.
E5	M	Gamificação				

tes da avaliação, o questionário *online*, que na primeira seção havia um termo de consentimento livre e esclarecido e, só após o aceite do participante, a avaliação dos *wireframes* seria realizada. Na Tabela 4 estão os dados dos participantes da pesquisa preliminar. A partir de agora, os especialistas serão representados pela inicial ‘E’ e os novatos pela inicial ‘N’, ambos seguidos por uma numeração, por exemplo, E1 para especialista 1 e N1 para novato 1. No decorrer do questionário, o pesquisador anotava o *feedback* dados pelos participantes sobre a proposta dos elementos, como sugestões de mudança, proposta que não podem funcionar como o esperado e novas ideias.

4.1. Resultados

De maneira geral, os participantes gostaram da proposta de gamificação para o portal. Os novatos acreditam que a proposta de gamificação do portal pode contribuir para o processo de primeira contribuição, N2 disse: “*Considero os elementos bem relevantes, pois são diferentes do que eu já tinha visto em um outro contato com esse sistema de gamificação e acredito que eles ajudaram sim no processo de contribuição de novatos*” e N4 comentou: “*os elementos de jogos são mais interessantes do que ter que responder perguntas sobre o processo de contribuição ou algo do tipo tutorial*”.

Os especialistas também acreditam que os elementos propostos podem auxiliar e motivar o novato para o processo de primeira contribuição. E2 afirmou: “*Acredito que a proposta tem potencial para motivar os usuários leigos a contribuir com projetos*” e o E3 comentou: “*Acredito que possam auxiliar os novatos a participarem, trazendo uma motivação a mais, além da motivação básica de participar desse tipo de comunidade*”.

O elemento de jogo “Desbloqueio”, representado por cadeados nas seções “*Know Code*” e “*Send Contribution*”, foi considerado muito importante pelos nove participantes para auxiliar os novatos no processo de contribuição, de forma que tenta direcionar os novatos para as seções disponíveis. Entretanto, algumas considerações foram feitas a respeito da proposta de uso de outros elementos utilizados. Nas próximas seções serão apresentadas as mudanças sugeridas, quais propostas para os elementos poderiam dar errado, e novas ideias segundo a percepção dos participantes.

4.1.1. Mudanças Sugeridas

Uma das mudanças mais sugeridas, foi no tabuleiro. Quatro especialistas e um novato sugeriram a mudança na proposta dessa representação. Previamente proposto como uma visualização da seção selecionada, esses participantes sugeriram alterar para apresentar

o progresso do novato no fluxo de contribuição. N2 e E5 também sugeriram retirar os botões de seções. N1 disse: *“Estes números no tabuleiro poderiam ser botões, assim a tela ficaria menos poluída”*. E2 sugeriu deixar o tabuleiro fixo sem a opção de *slider*, e as informações que estavam no quadro como a posição do novato seriam transferidas para a seção *“Profile”*. N2 sugeriu trocar o nome *Ranking* para *“Leaderboard”*, pois é um termo mais utilizado em gamificações e também, trocar a visualização do nome do novato para o *“Nickname”* do mesmo, como forma de garantir o anonimato na ferramenta, N2 disse: *“é muito comum a pessoa não querer se expor em portais”*.

4.1.2. O que pode dar errado?

Os especialistas e novatos alertaram que alguns elementos podem não funcionar como planejado. E2 alertou para a possibilidade de que o fórum, mostrando quantos novatos estão online, pode ser um risco, falando que é importante verificar a demanda do sistema, E2 disse: *“o novato pode se sentir sozinho se não houver outro novato online.”*. E1 alertou para a possibilidade de que os novatos não queiram tirar dúvidas com uma pessoa com o mesmo nível de conhecimento. N1 comentou que se postasse alguma pergunta no fórum do portal, e ela não fosse respondida, mesmo com a retribuição da *Badge* de Questionador, ele ficaria intimidado a fazer outra pergunta. N1 e N4 também comentaram que se estivesse em último lugar no *Ranking*, talvez se sentiriam desmotivados. Além disso, E5 também comentou que ter um perfil editável não contribui para a motivação do novato em continuar no processo de contribuição, visto que é somente uma ferramenta padrão de perfil, não devendo ser considerado um elemento de jogo motivador para o novato continuar no fluxo de contribuição.

4.1.3. Novas ideias

Todos os especialistas e um novato contribuíram com novas ideias para a proposta. E1 sugeriu que os *Badges* sejam anunciadas antes de serem conquistadas, E1 disse: *“O novato tem que saber qual a Badge que vai ganhar antes de recebê-la.”*. No tabuleiro, E3 sugeriu colocar dicas sobre o que há naquela etapa e naquela seção. E5 ressaltou que as dicas sejam passivas, ou seja, só fiquem visíveis caso o usuário desejar, ele disse: *“É importante que as dicas sejam visualizadas de forma suave, sem atrapalhar toda a tela”*. Para o elemento votação, N1 comentou que a possibilidade de se receber votos negativos faz com o que o novato pense na pergunta antes de postar no fórum, mas sugeriu que a votação poderia ser representada por estrelas e que também tenha uma forma de moderação no fórum. E2 sugeriu que as postagens no fórum sejam ordenadas por data, da mais recente a mais antiga, E2 disse que *“Com as postagens mais recentes primeiro, ficaria mais fácil para o novato ver o que há de novo no fórum”*. Com relação ao *Ranking*, E3 e E4 sugeriram que a posição do novato só esteja disponível para ele ou que só apareça os cinco novatos acima e os cinco novatos abaixo na classificação, pois, dessa forma, os usuários, se sentiriam menos desmotivados, caso estivessem nas últimas posições.

4.2. Discussão

A avaliação dos *wireframes* do portal FLOSScoach por especialistas e novatos fez com que os autores tivessem a opinião externa sobre a proposta de gamificação e reavaliassem

suas decisões quanto a implementação dos elementos.

O elemento de jogo “Sensório-motor”, representado por um tabuleiro, precisa ser melhor aproveitado. A sugestão de que ele seja relacionado ao fluxo de contribuição, pode ajudar na orientação do novato, no sentido de mostrar em qual parte do fluxo o novato se encontra. Outra sugestão seria mover os botões que estão abaixo do tabuleiro, diretamente no tabuleiro, no formato de outro elemento de jogo, o “Significado Retórico”, representado no formato de dicas, para evitar a duplicação da informação. Este elemento de jogo, “Significado Retórico”, no formato de dicas foi considerado muito importante para auxiliar o novato no processo de contribuição, mas os participantes ressaltaram que se deve sempre tomar o cuidado para que estas dicas sejam passivas mostradas somente quando o novato deseja vê-las.

O elemento de jogo “Comunidade Social”, representado por um fórum, foi considerado importante para manter os novatos motivados em continuar no fluxo de contribuição, mas é importante fazer alguns ajustes, como a moderação e retirar a opção de pessoas *online*, visto que o portal, em um primeiro momento, terá uma demanda pequena e o novato poderá se sentir só, caso não haja outros usuários online. Uma das questões que ainda precisa ser analisada é quando um novato pergunta mas não é respondido. Essa questão foi amenizada com a retribuição de “*Badges*” para os novatos que respondem as questões, mas pode não ser suficiente. No elemento “Comunidade Social”, representado por um fórum, tem-se o elemento de jogo “Votação”, representado pelas opções de “+” e “-”. Este foi considerado importante para manter os novatos motivados, ao passo que os votos positivos aumentam a reputação do novato, mas talvez mudar a representação retirando os votos negativos seja mais adequado ao contexto, já que os votos negativos não diminuem a reputação do novato.

Já o elemento de jogo “Perfil”, representado na forma de um perfil editável, foi entendido como uma funcionalidade padrão para este tipo de portal, portanto, deve existir. O elemento “*Ranking*” representado por uma lista ordenada pelas “*Badges*” e votos de cada novato, precisa ser remodelado, de forma que garanta a privacidade do novato, e não o desmotive a continuar contribuindo. O elemento de jogo “*Badges*” representado na forma de círculos motiva os novatos a continuar no processo de contribuição, mas precisa, de alguma forma ser anunciado antes, para motivar o novato a realizar a ação para conquistar tais “*Badges*”.

Estes resultados preliminares serão utilizados para a concepção dos protótipos de alta fidelidade do portal FLOSSCoach gamificado, o próximo passo desse estudo, a ser seguido, será um estudo empírico com alunos.

5. Considerações Finais

Os projetos de SL dependem da entrada de novatos para se manterem sustentáveis, mas estes novatos enfrentam muitas barreiras ao fazer a sua primeira contribuição. Por isso, é importante desenvolver estudos na área de Sistemas Colaborativos sobre formas de amenizar estas barreiras e auxiliar no processo de primeira contribuição. Neste trabalho, foi apresentado o processo de gamificação e uma avaliação preliminar de uma proposta de gamificação para um portal já existente, o FLOSSCoach, com o objetivo de auxiliar novatos em projetos de Software Livre.

Um *framework* de gamificação, eleito na literatura para guiar o processo de

concepção da gamificação do portal foi utilizado para auxiliar na escolha dos elementos de jogos e quais atividades receberiam estes elementos. Os elementos de jogos: Desbloqueio, Significado Retórico, Sensorio-motor, Votação, Perfil, Personalização, Comunidade Social, Ranking e *Badges* foram utilizados na concepção das telas.

Nesta avaliação preliminar, oito *wireframes* foram utilizados para representar as telas com os elementos de jogos. Os *wireframes* foram avaliados por nove participantes, sendo cinco especialistas e quatro novatos, através de entrevista guiada por questionário. Os resultados preliminares, apesar do reduzido número de participantes, indicaram que a proposta tem potencial para auxiliar no processo de contribuição e, também, motivar o novato a continuar no processo de contribuição. Entretanto, algumas alterações na forma que os elementos foram propostos ainda precisam se realizadas.

6. Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer aos participantes do estudo. Esta pesquisa foi financiada pelo CNPq (edital MCTI/CNPq 14/2014, Processo 456377/2014-0).

Referências

- Aparicio, A. F., Vela, F. L. G., Sánchez, J. L. G., and Montes, J. L. I. (2012). Analysis and application of gamification. In *Proceedings of the International Conference on Interacción Persona-Ordenador*, pages 17–18, Elche, Spain. ACM.
- Barbosa, S. and Silva, B. (2010). *Interação Humano-computador*. Elsevier Brasil, Rio Janeiro, 1st edition.
- Chou, Y. (2015). *Actionable gamification: Beyond points, badges, and leaderboards*. Octalysis Media Fremont, California, USA.
- Deterding, S., Dixon, D., Khaled, R., and Nacke, L. (2011). From game design elements to gamefulness: Defining "gamification". In *Proceedings of the International Academic MindTrek Conference*, pages 9–15, Tampere, Finland. ACM.
- Diniz, G., Silva, M. A. G., Gerosa, M. A., and Steinmacher, I. (2017). Using gamification to orient and motivate students to contribute to OSS projects. In *Proceedings of the International Workshop on Cooperative and Human Aspects of Software Engineering, in conjunction with ICSE*, pages 1–7, Buenos Aires, Argentina. ACM (To Appear).
- Hamari, J., Koivisto, J., and Sarsa, H. (2014). Does Gamification Work? A Literature Review of empirical studies on gamification. In *Proceedings of the Hawaii International Conference on System Sciences*, pages 3025–3034, Hawaii, USA. IEEE.
- Jergensen, C., Sarma, A., and Wagstrom, P. (2011). The Onion Patch: Migration in open source ecosystems. In *Proceedings of the Symposium and the European Conference on Foundations of Software Engineering*, pages 70–80, Szeged, Hungary. ACM.
- Lee, S., Park, D.-H., and Han, I. (2013). New members' online socialization in online communities: The effects of content quality and feedback on new members' content-sharing intentions. *Computers in Human Behavior*, 30:344–354.
- Lotufo, R., Passos, L. T., and Czarnecki, K. (2012). Towards improving bug tracking systems with game mechanisms. In *Proceedings of the International Conference of Mining Software Repositories*, pages 2–11, Zurich, Switzerland. ACM.

- Marache-Francisco, C. and Brangier, E. (2013a). Perception of gamification: Between graphical design and persuasive design. In *Proc. of the Intl. Conference of Design, User Experience, and Usability*, pages 558–567, Las Vegas, USA. Springer.
- Marache-Francisco, C. and Brangier, E. (2013b). Process of gamification. In *Proceedings of the International Conference in Human-oriented and Personalized Mechanisms, Technologies, and Services*, pages 126–131, Venice, Italy. IARIA.
- Moccozet, L., Tardy, C., Opprecht, W., and Leonard, M. (2013). Gamification-based assessment of group work. In *Proceedings of the International Conference on Interactive Collaborative Learning*, pages 171–179, Kazan, Russia. IEEE.
- Mora, A., Riera, D., Gonzalez, C., and Arnedo-Moreno, J. (2015). A Literature Review of Gamification Design Frameworks. In *Proc. of the International Conference Games and Virtual Worlds for Serious Applications*, pages 1–8, Skövde, Sweden. IEEE.
- Park, Y. and Jensen, C. (2009). Beyond pretty pictures: Examining the benefits of code visualization for open source newcomers. In *Proc. of the Intl. Workshop on Visualizing Software for Understanding and Analysis, in conjunction with VISSOFT*, pages 3–10, Edmonton, Canada. IEEE.
- Schilling, A., Laumer, S., and Weitzel, T. (2012). Who will remain? An evaluation of actual person-job and person-team fit to predict developer retention in floss projects. In *Proceedings of the Hawaii International Conference on System Science*, pages 3446–3455, Hawaii, USA. IEEE.
- Singer, L. and Schneider, K. (2012). It was a bit of a race: gamification of version control. In *Proc. of the Intl. Workshop on Games and Software Engineering, in conjunction with ICSE*, pages 5–8, Zurich, Switzerland. IEEE.
- Steinmacher, I., Conte, T. U., Treude, C., and Gerosa, M. A. (2016). Overcoming open source project entry barriers with a portal for newcomers. In *Proceedings of the International Conference on Software Engineering*, pages 273–284, Austin, Texas. ACM.
- Steinmacher, I., Silva, M. A. G., and Gerosa, M. A. (2014). Barriers faced by newcomers to open source projects: A Systematic Review. In *Proceedings of the International Conference on Open Source Systems*, pages 153–163, San José, Costa Rica. Springer.
- Vasilescu, B. (2014). Human aspects, gamification, and social media in collaborative software engineering. In *Proceedings on the International Conference on Software Engineering*, pages 646–649, Hyderabad, India. IEEE.
- Werbach, K. and Hunter, D. (2012). *For the win: How game thinking can revolutionize your business*. Wharton Digital Press, Philadelphia, USA, 1st edition.
- Zhou, M. and Mockus, A. (2012). What make long term contributors: Willingness and opportunity in OSS community. In *Proceedings of the International Conference on Software Engineering*, pages 518–528, Zurich, Switzerland. IEEE.

16° WPerformance - Workshop em Desempenho de Sistemas Computacionais e de Comunicação

Apresentação

É com muita alegria e satisfação que damos as boas vindas aos participantes do 16o Workshop em Desempenho de Sistemas Computacionais e de Comunicação (WPerformance 2017). Como já é tradicional, o evento ocorre de forma integrada ao Congresso da Sociedade Brasileira de Computação (CSBC).

O estudo e a análise de desempenho nas mais diversas áreas da Computação é uma atividade chave nos dias de hoje. O WPerformance é um fórum para discussão e disseminação de ideias sobre métodos, técnicas e ferramentas para avaliação de desempenho de sistemas computacionais e de comunicação. São de particular interesse do evento os trabalhos que apresentam novas metodologias ou que aplicam de forma inovadora os métodos existentes para modelar, projetar, avaliar e otimizar o desempenho de sistemas computacionais em geral.

As atividades no WPerformance compreendem apresentação de trabalhos completos, artigos curtos, além de palestras convidadas e um painel. Para esta edição do WPerformance, a 16a consecutiva, foram submetidos 36 artigos oriundos de instituições de pesquisa de diferentes regiões do país. Cada artigo foi revisado por pelo menos 3 revisores e, na maioria dos casos, por 4 revisores, totalizando 137 revisões realizadas. Do total de trabalhos submetidos, 11 foram aceitos como artigos completos (todos com média acima de 7,5) e 3 como artigos curtos (todos com média acima de 6,2) para serem apresentados em sessões técnicas do WPerformance 2017. A taxa de aceite, portanto, foi de 38,9% (considerando artigos completos e curtos) e de 30,6% (considerando apenas os artigos completos).

Ao Comitê de Programa e aos revisores convidados pelo excelente trabalho de avaliação de artigos com seriedade e zelo, e pela disponibilidade dedicada, nossa gratidão. Aos palestrantes, painelistas, autores e demais membros da comunidade que contribuíram para a realização deste evento, um agradecimento especial pelo reconhecimento e confiança no WPerformance. Registramos, também, o apoio constante do comitê organizador do CSBC 2017 nas diversas atividades relativas ao WPerformance 2017. Nossos sinceros agradecimentos em particular ao prof. Daniel de Oliveira pela rapidez e dedicação como foram tratadas as diferentes demandas de planejamento.

Por fim, agradecemos a todos os autores de artigos e participantes por acreditarem e participarem do WPerformance. Esperamos que apreciem a programação técnica e se inspirem com boas ideias.

**Carlos Alberto Vieira Campos (UNIRIO), Danielo G. Gomes (UFC),
Coordenadores do WPerformance 2017**

Comitê Organizador

Coordenação Geral

Carlos Alberto Vieira Campos (UNIRIO), Danielo G. Gomes (UFC)

Coordenação Local

Dirceu Matheus Jr. (Mackenzie)

Coordenação do Comitê de Programa

Carlos Alberto Vieira Campos (UNIRIO), Danielo G. Gomes (UFC)

Comitê de Programa

Alex Borges Vieira (UFJF), Ana Paula Couto da Silva (UFMG), Antônio Abelém (UFPA), Antonio Rocha (IC/UFF), Antonio Tadeu Gomes (LNCC), Artur Ziviani (LNCC), Carlos Alberto Vieira Campos (UNIRIO), Daniel Batista (IME/USP), Daniel de Oliveira (UFF), Daniel Figueiredo (UFRJ), Daniel Menasche (UFRJ), Danielo G. Gomes (UFC), Edmundo de Souza e Silva (UFRJ), Eduardo Nakamura (UFAM), Eduardo Xavier (UNICAMP), Fabio Andre Porto (LNCC), Fabricio Murai Ferreira (UFMG), Genaina Rodrigues (UnB), Gustavo Figueiredo (UFBA), Islene Garcia (UNICAMP), João Netto (UFRGS), José Ferreira de Rezende (UFRJ), José Augusto Suruagy Monteiro (UFPE), Jussara Almeida (DCC-UFMG), Lasaro Camargos (UFU), Luidi Simonetti (UFRJ), Luiz Bittencourt (Unicamp), Luiz Manoel Rocha Gadelha Jr (LNCC), Magnos Martinello (UFES), Marcelo Carvalho (UnB), Marta Mattoso (COPPE/UFRJ), Miguel Elias Mitre Campista (UFRJ), Moises Ribeiro (UFES), Morganna Diniz (UNIRIO), Nelson Fonseca (UNICAMP), Paulo Aguiar (UFRJ), Paulo Fernandes (PUCRS), Paulo Romero Maciel (UFPE), Pedro Velloso (UFRJ), Rafael Laufer Bell (Labs Nokia), Rafael Melo (UFBA), Rafael Pasquini (UFU), Ricardo Czekster (Universidade de Santa Cruz do Sul - UNISC), Rodolfo Villaca (UFES), Romulo Silva de Oliveira (UFSC), Rosa Leão (UFRJ), Sidney Lucena (UNIRIO), Thais Webber (Universidade de Santa Cruz do Sul - UNISC), Thiago Noronha (UFMG), Tiberius Bonates (UFC), Wagner Meira Jr. (UFMG)

Trabalhos completos

Os Dois Lados de Containers: Explorando o Balanço Entre Isolamento e Desempenho de Funções de Rede Virtualizadas

Nicolas Silveira Kagami, Luciano Paschoal Gasparly

Uma Abordagem Hierárquica para Escalonamento de Workflows Científicos Executados em Nuvens

Igor Barreto Rodrigues, Daniel de Oliveira

Um Protocolo Cross-Layer baseado em Coloração de Grafos para Melhoria da Eficiência de Redes de Sensores Sem Fio

Bruno Rogério S. dos Santos, Leonardo S. Rocha, Joaquim C. Júnior, Renan da S. Alves

TRELIS: Posicionamento de Funções Virtuais de Rede com Economia de Energia de Resiliência

Gabriel F. C. de Queiroz, Rodrigo de S. Couto, Alexandre Sztajnberg

Proteção por Pré-provisionamento em Redes Ópticas Elásticas

Paulo J. S. Júnior, André C. Drummond

Recomendação de Conteúdo e Desempenho de Sistemas de Cache

Raul G. M. de Freitas, Daniel Menasché, Carla Delgado, Artur Ziviani

Analysis of GPU Power Consumption Using Internal Sensors

Mariza Ferro, André Yokoyama, Vinicius Klôh, Gabrieli Silva, Rodrigo Gandra, Ricardo Bragança, Andre Bulcão, Bruno Schulze

Mecanismo para Cooperação e Coligação de Veículos Baseado na Teoriados Jogos para Transmissão de Vídeos em VANETs

Wellington Lobato Junior, Denis Rosário, Leandro A. Villas, Eduardo Cerqueira

Desenvolvimento de um Algoritmo de Busca por Vértices Específicos em Redes

Pedro Freitas, Victor Cardoso, Giulio Iacobelli, Daniel Figueiredo

Um Mecanismo de Offloading de Dados com Tomada de Decisão

Joari S. L. Filho, Manuel G. da S. Neto, Paulo A. L. Rego, Danielo G. Gomes

Um mecanismo distribuído de incentivo baseado em crédito para redes oportunistas

Daniel de M. C. Christiani, Antônio Augusto de A. Rocha, Carlos A. V. Campos

Artigos curtos

Otimizando o uso do Subsistema de Memória de GPUs para Aplicações Baseadas em Estênceis

Ricardo K. Lorenzoni, Matheus S. Serpa, Edson L. Padoin, Jairo Panetta Philippe O. A. Navaux, Jean-François Méhaut

Estudo comparativo do desempenho da transferência de dados nas arquiteturas RINA e TCP/IP

Djalma A. Lima Filho, José A. Suruagy Monteiro

Performance Evaluation of Wearable Computing Frameworks

Michelle Cacaís, Danielo G. Gomes, Paulo Armando C. Aguilár, Rossana M. C. Andrade

Os Dois Lados de Containers: Explorando o Balanço Entre Isolamento e Desempenho de Funções de Rede Virtualizadas

Nicolas Silveira Kagami¹, Luciano Paschoal Gaspar¹

¹Instituto de Informática – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)
Caixa Postal 15.064 – 91.501-970 – Porto Alegre – RS – Brazil

nskagami@inf.ufrgs.br

Abstract. *Network Function Virtualization (NFV) has been suggested as a solution to the telecommunications industry's dependence on deploying dedicated physical devices to provide new functionality. Before NFV is widely adopted by the industry, it is essential that its robustness and performance aren't far from what is observed in traditional middlebox solutions. The use of containers has been recently studied as a lightweight alternative to the vastly employed hardware virtualization. However, most studies don't examine the effect of exerting isolation in the performance of containers. This factor can be decisive and should not be overlooked, specially considering that implementing isolation is a more intricate endeavour in containers than in hardware virtualization. This paper aims to characterize the trade-off relationship between isolation and performance in container based NFV environments, exploring technologies regarding isolation, communication, network functions and anomalies.*

Resumo. *Network Function Virtualization (NFV) tem sido sugerida como solução à histórica dependência da indústria de telecomunicações em implantar dispositivos físicos dedicados para prover novas funcionalidades. Para que NFV seja amplamente adotada pela indústria, é fundamental que a robustez e o desempenho não estejam muito longe daqueles observados no contexto de middleboxes tradicionais. A utilização de containers tem sido estudada recentemente como uma alternativa mais leve e com melhor desempenho do que a vastamente empregada virtualização de hardware. No entanto, a maioria das investigações não explora o custo de exercer isolamento no desempenho de containers. Tal consideração pode ser decisiva e não pode ser negligenciada, uma vez que a implementação do isolamento em containers é mais intrincada que em virtualização de hardware. Neste artigo propõe-se caracterizar a relação de compromisso entre isolamento e desempenho em ambientes NFV baseados em containers. Mais especificamente, explora-se eixos de tecnologias de isolamento, comunicação, funções de rede e anomalias.*

1. Introdução

A indústria de telecomunicações tem se apoiado historicamente na implantação de dispositivos físicos dedicados para prover novas funcionalidades, como *middleboxes*. Esse tipo de equipamento frequentemente requer um encadeamento específico com outros serviços, incumbindo não só em restrições topológicas da rede como na localização física dessas funções componentes. Tais restrições, juntamente com a exigência dos usuários por qualidade, estabilidade e custo baixo, acarretaram ciclos de produto mais longos e uma forte

dependência em hardware especializado [Mijumbi et al. 2016], culminando num enrijecimento topológico e funcional.

Network Function Virtualization (NFV) tem sido sugerida como solução a essas complicações. NFV é um conceito emergente no qual funções de rede podem ser implantadas como instâncias de software, abstraindo os componentes físicos subjacentes. Essa abordagem permite maior flexibilidade e escalabilidade dos serviços, uma vez que os mesmos podem ser provisionados dinamicamente em resposta a mudanças momentâneas na rede, e relocados a qualquer hardware compatível com sua tecnologia de virtualização.

Múltiplas questões relevantes devem ser adequadamente respondidas antes que NFV seja amplamente adotada pela indústria. Um aspecto fundamental é que a robustez e o desempenho observado em soluções NFV não esteja muito longe daqueles observados no contexto de *middleboxes* tradicionais. Essas questões estão fortemente atreladas às tecnologias de virtualização e comunicação em cima das quais a solução NFV é desenvolvida.

Existem duas vertentes principais na tecnologia de virtualização que têm atraído atenção da academia recentemente, a virtualização baseada em *hypervisors* e a virtualização baseada em *containers*. A virtualização por *hypervisors*, também conhecida como virtualização por hardware, se caracteriza por abstrair o hardware subjacente, garantindo isolamento de recursos de cada máquina virtual ao custo de um *overhead* de acesso. A virtualização por *containers*, também conhecida como virtualização por software, pode ser vista como uma alternativa mais leve, uma vez que apresenta um sistema operacional compartilhado que serve de base para todos *containers*, acarretando um menor custo de desempenho.

O emprego de *containers* em NFV pode trazer múltiplos benefícios em relação ao uso de máquinas virtuais, como um menor *overhead* em acesso ao hardware, maior escalabilidade, além de mais rapidez e flexibilidade no estabelecimento de funções novas. Essas vantagens vêm ao custo de isolamento potencialmente mais precário, feito através de construtos do próprio sistema operacional, enquanto que as instâncias de virtualização por *hypervisor* ocorrem em sistemas operacionais distintos. Soluções de comunicação para *containers* ainda estão sendo desenvolvidas e avaliadas e serão determinantes para a aceitação de *containers* no âmbito de NFV.

Alguns estudos têm sido feitos na direção de entender o que tecnologias de virtualização leve podem oferecer em um contexto de NFV, sugerindo alguns tópicos de pesquisa que requerem atenção, como tecnologias de comunicação e soluções de isolamento. Neste trabalho propomos uma avaliação das características de isolamento e desempenho de *containers*, tentando responder as seguintes questões de pesquisa.

- Qual o desempenho sustentado que pode ser obtido por *containers* em um contexto NFV, sem perder de vista questões de segurança e isolamento?
- Como as tecnologias de comunicação disponíveis afetam o balanço de desempenho e isolamento?

Este trabalho apresenta uma investigação do comportamento de *Virtual Network Functions* (VNFs) implementadas em *containers*, com o objetivo de averiguar como escolhas de tecnologias de comunicação e isolamento influenciam no desempenho quando uma função vizinha apresenta comportamento errático. Mais especificamente, avalia-se as capacidades de rede, que são essenciais no contexto de NFV.

O restante deste artigo é organizado da seguinte forma. A Seção 2 apresenta trabalhos relacionados e o estado da arte no estudo de *containers*. A Seção 3 caracteriza a aplicação de uma função virtualizada de rede no contexto de virtualização por *containers*. A Seção 4 descreve o ambiente de avaliação experimental, detalhando e justificando as escolhas de ferramentas, métricas, cenários e cargas de trabalho. A Seção 5 relata os resultados dos experimentos executados. A Seção 6 desenvolve pontos de análise sobre os resultados obtidos e os relaciona com questões de isolamento e desempenho em *containers* assim como suas implicações para NFV. Por fim, a Seção 7 versa sobre a contribuição do artigo e elabora sobre trabalhos futuros.

2. Trabalhos Relacionados

Em um amplo estudo dos atuais desafios de pesquisa em NFV [Mijumbi et al. 2016], Mijumbi *et al* afirmam que *containers* podem ser mais apropriados do que *hypervisors* dependendo da função. Este trabalho aponta ainda que *containers* podem trazer até 30% de economia em custos de servidor se comparados a virtualização por hardware. Em uma investigação similar em escopo [Han et al. 2015], Han afirma que as soluções atuais de NFV em máquinas virtuais (*hypervisor*) têm problemas de memória e tempo de instanciação. Além disso, sustenta que a indústria requer implementações mais leves, remanescendo como um tópico de pesquisa em aberto. Ambas investigações destacaram o potencial de *containers*, e ressaltaram a necessidade de estudo na área.

Em um estudo da aplicação de NFV ao fornecimento dinâmico e elástico de acesso público à internet, Heideker e Kamienski observaram vantagens de desempenho e tempo de instanciação na aplicação de *containers* [Heideker and Kamienski 2016]. *Containers* também foram utilizados em um ambiente dedicado à submissão de cargas de trabalho, a ferramenta Rufus, cujo artigo ressalta que *containers* apresentam uma alternativa efetiva e de baixo custo [Souza et al. 2016]. O impacto de virtualização por *containers* também foi considerado positivo para a aplicação em *Data Centers* [Netto et al. 2016] e computação massivamente paralela e distribuída [Barbosa et al. 2014].

Em uma avaliação das tecnologias disponíveis de *hypervisors* e *containers* [Morabito et al. 2015], Morabito concluiu que *containers* apresentam melhor desempenho, com um *overhead* quase imperceptível para a maioria das métricas. No entanto, o autor condiciona essas vantagens ao custo de segurança e isolamento, salientando a carência de estudos sobre esses aspectos. Em um outro estudo [Felter et al. 2015], Felter comparou implementações das tecnologias de virtualização e concorda que *containers* geralmente apresentam menor *overhead*. O autor sugere que *containers* devem oferecer melhor desempenho e boa adequação a IaaS (*Infrastructure as a Service*). Porém, enfatiza que algumas questões de comunicação ainda devem ser investigadas. Há consenso entre Morabito e Felter sobre o melhor desempenho de *containers* em relação a *hypervisors*. Ambos, no entanto, apontam que esforços devem ser feitos para prover o isolamento, que seria garantido na virtualização por *hardware*.

Em uma investigação sobre comunicação de *containers* aplicada a NFV, Anderson confirma as vantagens de *containers* em relação a *Virtual Machines* (VMs) e afirma que, especificamente, latência e *jitter* requerem mais estudo, uma vez que atrasos regulares são importantes na cadeia de serviço de *Virtual Network Functions* (VNF) [Anderson et al. 2016]. Um estudo do desempenho de módulos de *kernel* como tecnologias de comunicação de *containers* salienta que *containers* e comunicação *inter-containers* requerem muito estudo [Claassen et al. 2016]. O estudo chegou a conclusão de que *macvlan* é o módulo de *kernel* com melhor desempenho, porém, a versão analisada não incluiu opções de isolamento disponíveis. Os estudos focados em comunicação de *containers* reforçam suas capacidades e explicitam a necessidade de estudo na área.

Considerando os trabalhos previamente mencionados, é possível concluir que *containers* têm o potencial para diminuir custos em NFV devido a seu baixo impacto. Em geral, *containers* apresentam melhor desempenho do que soluções equivalentes por *hypervisors*, porém, a sua capacidade de isolamento não é garantida. Esse é um aspecto que requer estudo, uma vez que a virtualização leve não providencia isolamento inerente, diferentemente da virtualização de *hardware*, em que o isolamento é consequente do substrato de virtualização. Nesse sentido, uma questão em aberto é quanto o esforço de *containers* para manter o isolamento afeta seu desempenho final. Também foi proposto que as tecnologias de comunicação de *containers* sejam investigadas, não somente por seu papel no desempenho e no isolamento, mas principalmente por ser um aspecto essencial para garantir a qualidade de funções de rede.

3. Função Virtualizada de Rede em Containers

Esta seção caracteriza os diferentes mecanismos disponíveis para virtualização de *containers* e seu potencial proveito no processo de implantação de funções virtualizadas de rede. Mais especificamente, busca-se analisar como diferentes combinações dessas tecnologias podem contribuir na direção de um equilíbrio adequado entre desempenho e isolamento, duas características fundamentais para NFV.

Soluções de virtualização por *containers* permitem a interação com o *kernel* hospedeiro, o que acarreta menores perdas de desempenho, uma vez que efetivamente elimina a necessidade de emulação de dispositivos físicos e *drivers*. Por esse mesmo motivo, *containers* não garantem intrinsecamente o isolamento apresentado por soluções de virtualização a nível de *hardware*, nas quais a camada de virtualização mantém um sistema operacional dedicado entre as possíveis interações inadequadas e o *kernel* hospedeiro.

As capacidades de isolamento de *containers* provêm de um leque de mecanismos de software, muitos dos quais são soluções maduras originárias da comunidade de sistemas operacionais. A Figura 1 ilustra como *containers* estruturam seus recursos para prover o ambiente de virtualização. Particularmente no nível de *kernel* estão ferramentas como *cgroups*, para delimitar uso de recursos, *AppArmor*, para estabelecer controle de acesso e *namespaces*, para confinar o escopo de nomes, as quais edificam o ambiente de isolamento. A configurabilidade desses mecanismos possibilita que um administrador de sistema equilibre requisitos de desempenho e isolamento, que podem ser essenciais para calibrar o comportamento de uma função virtualizada de rede.

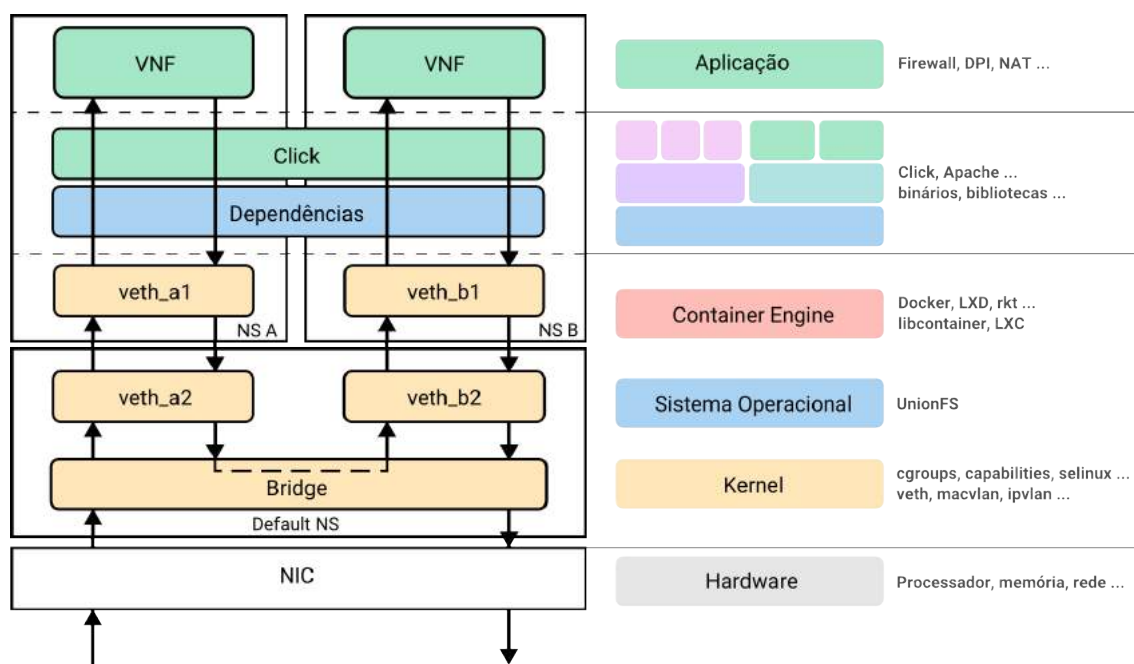


Figura 1. Representação estrutural de *containers* de aplicação.

Algumas soluções de *containers* (como Docker e rkt) têm se especializado em comportar aplicações, aproveitando dependências compartilhadas para economizar recursos. Essas soluções têm sido denominadas *containers* de aplicação, em contraste aos *containers* de sistema, que representam o conceito original de *container*. Outro esforço para contornar ineficiências foi o desenvolvimento da biblioteca *libcontainer*, que disponibiliza o uso dos recursos de isolamento do *kernel* linux sem a necessidade de componentes do espaço de usuário como LXC, libvirt e systemd-nspawn.

Containers de aplicação, desbravados pelo Docker, apresentam *union filesystems*, que permitem que arquivos e diretórios de *filesystems* diferentes se sobreponham transparentemente. Além disso, o sistema *Copy-on-write* (CoW) possibilita que múltiplos *containers* acessem um mesmo dado, mantendo a capacidade de possuir suas próprias versões, em caso de modificação. Essas duas funcionalidades são integrais ao sistema de imagens e camadas, apresentado na Figura 1, o que diminui consideravelmente o consumo de recursos quando utilizando múltiplos *containers* que compartilham as mesmas camadas. Somando isso ao fato de que é possível implementar funções virtualizadas de rede distintas utilizando um arcabouço estático de dependências (como *click modular router*), pode-se alcançar um nível de densidade de funções de rede muito alta.

Dentre as diversas tecnologias de comunicação disponíveis a *containers*, os módulos de *kernel* representam a configuração padrão distribuída pelas soluções atuais. O módulo de *kernel veth* estabelece um par de interfaces de rede, uma no *namespace* do *container* e outra no *namespace* padrão, deixando a comunicação do *container* restrita ao que flui entre esses pontos. O Docker, por padrão, cria pares *veth* para seus *containers* e os conecta por uma *bridge* a sua rede principal. Esses níveis de indireção afetam o desempenho fortemente, mas facilitam isolamento, uma vez que toda comunicação com o *container* pode ser facilmente configurada.

O módulo de *kernel macvlan* tem sido usado como alternativa em casos de necessidade de desempenho. O *driver* da controladora de rede fica sob comando (*slave*) das interfaces *macvlan* presentes nos *namespaces* dos *containers*, cada uma associada a um endereço MAC. Seu ganho em desempenho em relação a *veth* é compensado com menos isolamento inerente, considerando que, a princípio, todas interfaces compartilham o mesmo domínio de *broadcast*. No entanto, diferentes modos de operação de *macvlan* permitem ajustar isolamento e desempenho, sendo possível criar um canal de comunicação especial entre *containers* ou vetar sua intercomunicação inteiramente. Esse atalho de comunicação *inter-container* pode ser apropriado para diminuir latência no encadeamento de VNFs, mas também permite que um *container* comprometido afete seus vizinhos.

É importante notar que a virtualização por *containers* representa uma alternativa que não só oferece maior desempenho no caso ideal, mas principalmente oferece a capacidade de configurar funcionalidades de isolamento específicas, determinando o grau de impacto no desempenho. A eficiência de recursos também pode ser beneficiada, possibilitando maior densidade de funções de rede do que a obtida em soluções de virtualização por *hypervisor*. As investigações atuais têm se concentrado no desempenho ideal de *containers*, muitas vezes desconsiderando o efeito de exercer restrições de isolamento. Para que a comparação com soluções de virtualização de hardware seja pertinente e para que a comunidade de desenvolvimento de *containers* possa adequá-los ao ecossistema de NFV, é necessário avaliar o efeito no desempenho que essas ferramentas podem acarretar quando exercendo suas funções.

4. Ambiente de Avaliação

O objetivo desta seção é descrever o ambiente de avaliação experimental, detalhando e justificando as escolhas de ferramentas, métricas, cenários e cargas de trabalho. O conjunto de experimentos visa a caracterização do desempenho de uma função virtualizada de rede estabelecida em uma *Service Function Chain* (SFC) durante a ocorrência de uma anomalia em um *container* vizinho, como ilustrado na Figura 2. Determina-se o desempenho por meio de um fluxo que origina e culmina nas funções de rede fonte e destino, considerando especificamente a comunicação *inter-container* característica de uma SFC que compartilha o substrato físico de virtualização. A anomalia representa o comportamento errático de uma instância de função de rede, forçando o sistema a exercer seus mecanismos de isolamento, o que pode comprometer o desempenho da função de rede.

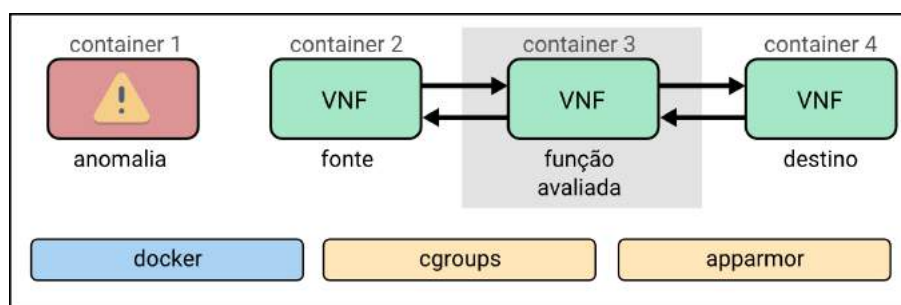


Figura 2. Fluxo de teste utilizado, representando a comunicação *inter-containers* em uma *Service Function Chain*.

Das tecnologias de virtualização atualmente disponíveis, *Docker*¹ foi escolhido por sua ampla utilização e reconhecimento. Além disso, representa a tendência de reformulação de *containers* para acomodar aplicações de forma mais eficiente. As tecnologias de isolamento incluem ferramentas do *kernel linux* utilizadas tanto por *libcontainer*² quanto *liblxc*, caracterizando tanto *containers* de aplicação como de sistema. A ferramenta *cgroups*³ é utilizada para restringir o uso de recursos de *containers*, enquanto que o módulo de *kernel AppArmor*⁴ é empregado para delimitar controle de acesso, ambas as quais trabalham por padrão com o *Docker*. O perfil de execução do *cgroups* foi composto de forma a reservar os recursos necessários para os *containers* envolvidos no fluxo de avaliação, limitando recursos como CPU, memória, número de operações de I/O por segundo e capacidade de vazão de disco. Os recursos necessários para o funcionamento do encadeamento de funções de rede foram determinados a partir do consumo observado em uma execução prévia do ambiente de avaliação, o qual ocorreu na ausência de anomalias. O perfil escolhido para o AppArmor foi o *docker-default*, que é o padrão para *containers Docker*.

Para implementar as funções virtualizadas de rede, foi escolhido o *Click Modular Router*⁵, uma arquitetura de *software* para programar roteadores configuráveis. *Click* disponibiliza um conjunto de elementos processadores de pacotes a partir do qual múltiplas funções de rede podem ser compostas. Além disso, a estrutura de camadas e sistemas de arquivos de *containers* de aplicação favorece implementações que compartilham dependências, tornando configurações como esta particularmente econômicas de instanciar. As funções de rede escolhidas foram *Firewall*, *Deep Packet Inspection* (DPI) e *Network Address Translation* (NAT), de forma que os aspectos mais comuns do manuseio de pacotes estejam representados nos casos avaliados. O *Firewall* é implementado por um elemento do *Click* que simplesmente filtra pacotes de acordo com padrões pré-definidos, representando uma função leve de filtragem. O DPI é composto por um elemento que inspeciona e redireciona pacotes filtrados para caminhos diferentes, representando a capacidade de manipulação de fluxos do *Click*. A função de NAT seleciona pacotes e reescreve parte de seus cabeçalhos, representando a modificação de pacotes.

As tecnologias de comunicação avaliadas abrangem os módulos de *kernel veth* e *macvlan*, em diferentes configurações. Esses módulos foram escolhidos por sua popularidade e documentação, além de abranger múltiplos níveis de desempenho e isolamento. A configuração denominada *veth bridge*, visível na Figura 3(a), é composta de um par *veth* para cada *container*, conectados a uma *bridge* no *namespace* padrão. Esse é o padrão de comunicação do *Docker* e permite tanto comunicação externa como interna.

A Figura 3(b) ilustra *veth direct*, cujas interfaces virtuais *veth* encontram-se nos *namespaces* de dois *containers*, efetivamente estabelecendo uma ligação direta. Tal configuração não possibilita comunicação externa, mas sua comunicação interna é menos onerosa que do que a *veth bridge*, uma vez que múltiplos níveis de indireção são substituídos por uma conexão única.

¹<https://www.docker.com> - Acessado em Março 2017

²<https://github.com/opencontainers/runc> - Acessado em Março 2017

³<https://wiki.archlinux.org/index.php/cgroups> - Acessado em Março 2017

⁴<https://wiki.archlinux.org/index.php/AppArmor> - Acessado em Março 2017

⁵<http://read.cs.ucla.edu/click> - Acessado em Março 2017

A configuração *macvlan bridge* é representada na Figura 3(c), onde interfaces *macvlan* localizadas nos *containers* controlam uma interface *slave* no *namespace* padrão. A comunicação *inter-container* é possibilitada por uma *pseudobridge* que liga diretamente os *containers* via memória, oferecendo alto desempenho ao custo de isolamento. Outros modos de operação de *macvlan* não permitem comunicação direta *inter-container*, como o modo *private*, ou implementam tal comunicação de forma mais indireta, como o modo VEPA, que requer um *switch* servindo como refletor.

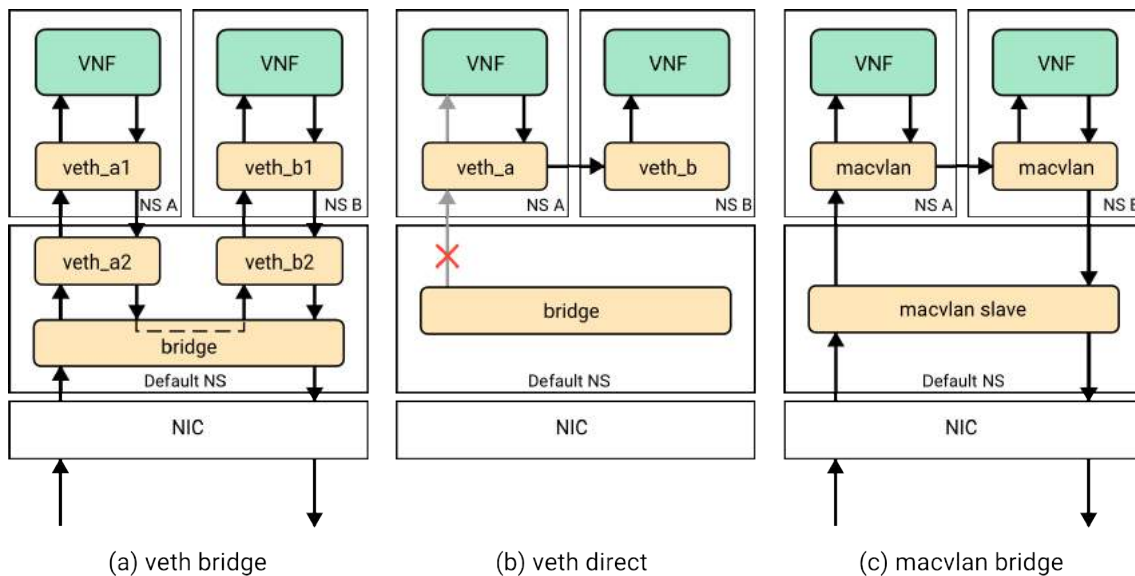


Figura 3. Configurações das interfaces de comunicação utilizadas.

As anomalias são compostas de comportamentos irregulares específicos, separados em estratégias que afetam recursos diferentes, como CPU, memória, I/O e disco. Para simular esses comportamentos foi empregada a ferramenta *stress*⁶, na qual a anomalia de CPU é simulada invocando múltiplas *threads* que executam *sqrt()*. A anomalia de memória consiste em *threads* que alocam memória via *malloc()*, tocando posições em um intervalo de 4096 *bytes* e então desalocando via *free()*. Por fim, as anomalias de I/O e disco são provocadas pela utilização de *sync()* e *write() / unlink()*, respectivamente.

As métricas de avaliação consideradas são focadas em características cruciais para a qualidade de funções de rede, como capacidade de vazão, latência (ou *Round Trip Time*) e *jitter*. A ferramenta *iperf3*⁷ é utilizada para gerar as cargas de trabalho, medindo fluxo TCP para determinar a capacidade de vazão e fluxo UDP para determinar *jitter*. A ferramenta *ping* é parametrizada para medir latência a cada 100 ms, resultando nas medidas de latência média e latência máxima. A latência máxima, ou pico de latência, é determinada como o maior valor de RTT encontrado em uma instância de avaliação e ajuda a estimar a capacidade de impacto instantâneo das anomalias avaliadas. A Tabela 1 ilustra as métricas de avaliação juntamente com suas respectivas ferramentas de medição, duração e unidades de medida.

⁶<http://people.seas.harvard.edu/~apw/stress/> - Acessado em Março 2017

⁷<http://software.es.net/iperf> - Acessado em Março 2017

Métrica	Ferramenta	Unidade	Duração
Vazão	<i>iperf3 TCP</i>	Mbps	15 s
Latência Média	<i>ping</i>	ms	15 s
Latência Máxima			
<i>Jitter</i>	<i>iperf3 UDP</i>	ms	15 s

Tabela 1. Métricas de avaliação e ferramentas de medição.

O sistema de avaliação empregado é um servidor Dell PowerEdge R420, com um processador Intel Xeon E5-2400, 32 GB de RAM 1333 MHz, executando Ubuntu 16.04 *kernel* 4.4.0. O experimento foi executado estilo *Full Factorial*, permutando todos os parâmetros descritos na Tabela 2 e repetindo o experimento 12 vezes, totalizando 2160 instâncias de teste. Cada instância tem uma duração de 45 segundos, divididos entre os testes *iperf3 TCP*, *iperf3 UDP*, e *ping*, separados por 5 segundos. Além disso, as instâncias aguardam 5 segundos após a aplicação das anomalias para avaliar a função de rede.

Parâmetros	Valores
Tecnologia de Comunicação	<i>veth bridge, veth bridge, macvlan bridge</i>
Tecnologia de Isolamento	Nenhuma, <i>cgroups, AppArmor, cgroups & AppArmor</i>
Função de Rede Virtualizada	<i>Firewall, DPI, NAT</i>
Anomalia	Nenhuma, CPU, Memória, Disco, I/O

Tabela 2. Parâmetros utilizados em uma avaliação *Full Factorial*.

5. Resultados

Esta seção relata os resultados obtidos a partir da execução do ambiente de avaliação previamente descrito. Todas as observações abaixo foram estatisticamente consideráveis a um nível de significância $1 - \alpha = 95\%$. A seguir estão quantificadas as observações mais interessantes com o objetivo de caracterizar como cada um dos fatores influencia no balanço de desempenho e isolamento. Apresenta-se o efeito das interfaces de comunicação, seguido da influência das anomalias e do isolamento e, por fim, das funções de virtualização.

Considerando o cenário de aplicação de anomalias, a Figura 4 ilustra as diferentes capacidades de vazão e picos de latência das interfaces avaliadas, também apresentando o efeito da aplicação de isolamento de recursos *cgroups*. Em média, *macvlan* apresentou 4,74% mais vazão que *veth direct*, que, por sua vez, alcançou 22,29% mais que a configuração *veth bridge*. A relação da latência foi mais intrincada, na qual a *macvlan* apresentou o maior aumento de latência durante anomalias de memória. A interface *veth direct* exibiu as menores médias de latência, demonstrando valores 16,17% menores que

a implementação tradicional de *veth bridge*. No entanto, é importante salientar que a anomalia de memória afetou fortemente todas as interfaces avaliadas.

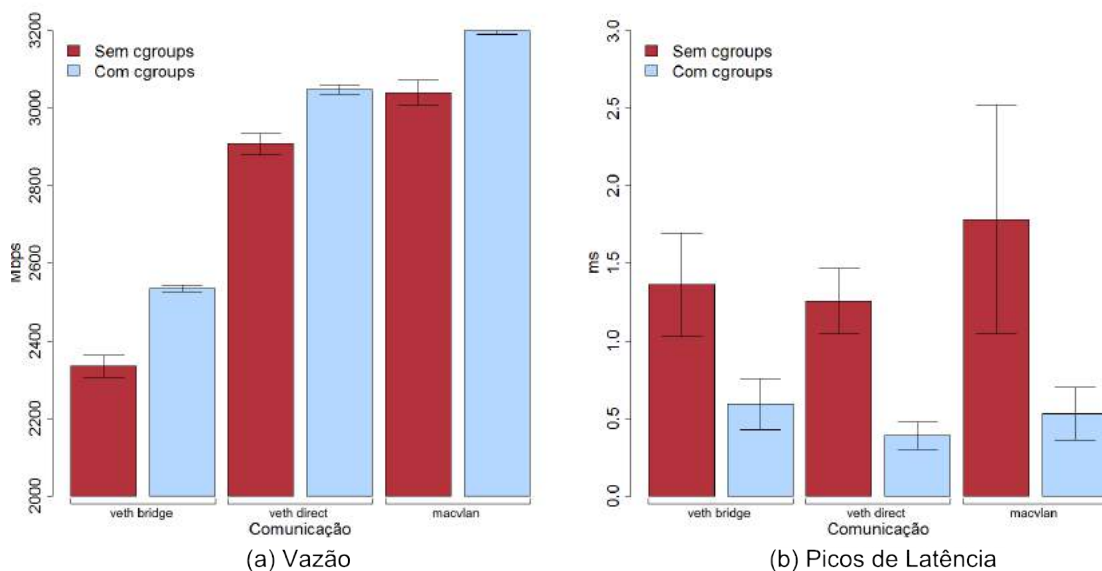


Figura 4. Desempenho das interfaces de comunicação no cenário de anomalias e efeito do *cgroups* na capacidade de vazão (à esquerda) e nos picos de latência (à direita).

Com o objetivo de determinar o custo inerente de desempenho encontrado em situações de extenuação de recursos pode-se considerar os valores observados na presença de anomalias e ausência de ferramentas de isolamento e contrastá-los com os valores encontrados no cenário ideal. Nesse caso, as anomalias deduziram, em média, 312,39 Mbps da capacidade de vazão e acrescentaram 1,034 ms nos picos de latência, representando uma variação de -10,39% e +129,78% em relação aos seus respectivos valores no caso ideal.

Em contraste, o impacto das anomalias na presença de isolamento pode ser determinado examinando a capacidade de vazão encontrada nesse cenário e comparando-a com o caso ideal. Na presença de ambos mecanismos de isolamento a perda de vazão média ocasionada pelas anomalias avaliadas foi de 115,31 Mbps, ou o equivalente a 3,81% da vazão apresentada na ausência de anomalias. Os respectivos valores de *jitter*, latência média e máxima correspondentes não foram significativos.

Em uma análise das ferramentas específicas de isolamento, o *AppArmor* manifestou consistentemente um impacto negativo de 32,48 Mbps na capacidade de vazão, representando um decréscimo de 1,073%, quando comparado com os valores obtidos aplicando anomalias. Em contrapartida, o isolamento de recursos *cgroups* teve um efeito majoritariamente positivo, mitigando em média o impacto das anomalias em 62,59% na capacidade de vazão e 60,26% nos picos de latência, enquanto que a latência média foi reduzida em 0,0459 ms. O único efeito negativo perceptível da aplicação do *cgroups* foi um leve aumento de 4,8 us no *jitter*, quando contraposto com o caso ideal (livre de anomalias).

Considerando individualmente as anomalias avaliadas, a Figura 5 apresenta os diferentes valores de capacidades de vazão e picos de latência observados juntamente com o efeito da aplicação do isolamento de recursos *cgroups*. Como é possível constatar abaixo, a privação de memória foi a anomalia que infligiu o maior impacto quando desprovido de isolamento, atingindo 602,85 Mbps de perda em capacidade de vazão e 2,18 ms de aumento nos picos de latência. Entretanto, o isolamento de recursos do *cgroups* foi capaz de reivindicar mais desempenho da anomalia de memória do que de qualquer outra, reduzindo o impacto negativo em 94,38% na capacidade de vazão. As anomalias manifestadas em I/O e Disco tiveram o menor impacto sem isolamento, mas, em compensação, a aplicação do isolamento teve o menor efeito nesses casos.

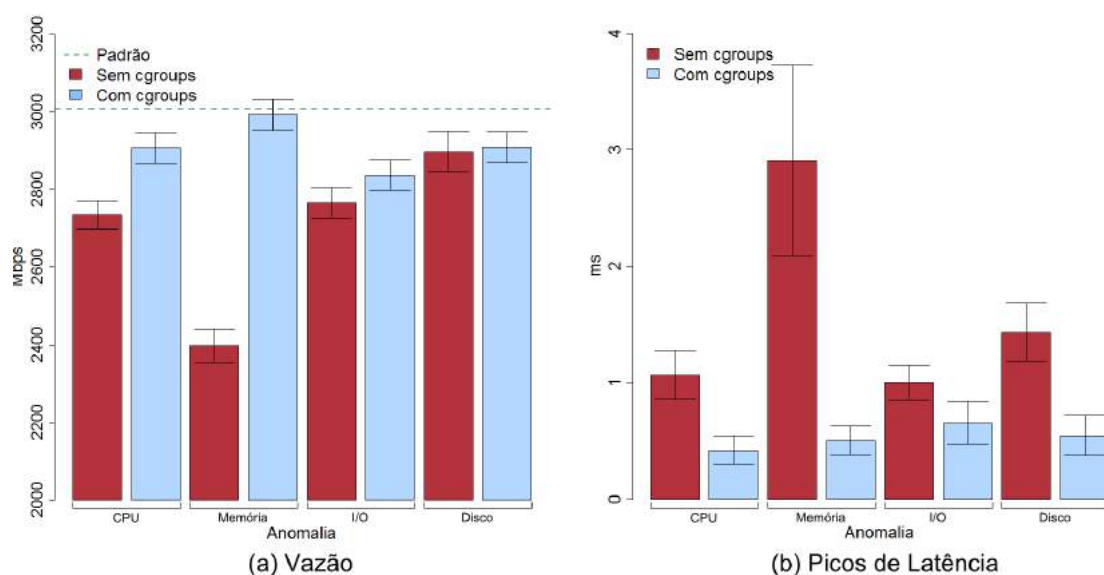


Figura 5. Efeito do *cgroups* nas anomalias, na capacidade de vazão (à esquerda) e nos picos de latência (à direita).

As três funções de rede analisadas obtiveram taxas muito similares de capacidade de vazão, no entanto, foi observada uma relação de ordem estatisticamente significativa na latência média e máxima. A latência observada na função NAT foi, em média, 0.0352 ms maior que a observada em DPI, a qual foi 0.0231 ms maior que a latência do *Firewall*. Nenhuma das anomalias avaliadas teve relação significativa com quaisquer das VNFs estudadas.

6. Discussão

Esta seção desenvolve pontos de análise sobre os resultados obtidos e os relaciona com questões de isolamento e desempenho em *containers* assim como suas implicações para NFV. Primeiramente, avalia-se as tecnologias de isolamento quanto à sua viabilidade, seguido de uma elucidação sobre a diversidade de resultados das anomalias e funções de rede. Por fim, elabora-se um panorama das principais propriedades das configurações de comunicação relativas à aplicação no encadeamento de funções virtualizadas.

A tecnologia de isolamento de recursos *cgroups* se mostrou mais eficaz na redução do impacto de anomalias de CPU e memória, nas quais sua contribuição mais expressiva ocorreu na diminuição dos picos de latência e aumento na capacidade de vazão. Contrastando com o caso ideal (livre de anomalias), seu único custo estatisticamente significativo, ainda que diminuto, ocorreu em *jitter* (4,8 us), mas em vista da apreciável diminuição dos picos de latência, tal observação não representa um empecilho à aplicação de *cgroups* a NFV.

Considerando a tecnologia de isolamento de segurança *AppArmor*, o único custo observável foi verificado na capacidade de vazão. Tal custo pode ser considerado diminuto em comparação com o típico custo de desempenho apresentado por virtualização de *hardware*. A escolha de tecnologias como *AppArmor* e *SELinux* se vê facilmente justificada em luz da proteção disponibilizada às possíveis brechas de segurança *zero day* presentes no *kernel* hospedeiro.

Das anomalias escolhidas, a que apresentou maior impacto na ausência de isolamento foi a privação de memória. No entanto, a aplicação do isolamento de recursos resultou numa redução quase completa desses efeitos (94,38%). Pode-se concluir que a anomalia de memória representa a maior vulnerabilidade de recursos mitigada por *cgroups*, no contexto avaliado. Por outro lado, a aplicação do isolamento de recursos teve seu menor efeito nas anomalias de IO e disco, cujo impacto é derivado de chamadas de sistema (*sync* e *write*, respectivamente). A capacidade dos *containers* de fazer chamadas de sistema ao *kernel* hospedeiro da máquina representa um ponto de vulnerabilidade, não só expondo recursos, mas principalmente oportunizando lacunas de segurança. É importante frisar que um *container* deve receber apenas o acesso estritamente necessário para seu funcionamento. Nesse caminho, o uso de *capabilities* pela *libcontainer* e *lxc* representa um passo na direção certa, mas ainda existem requisitos de segurança relativos a *containers* a serem atendidos.

Os resultados permitem discernir as funções de rede escolhidas, considerando que os mecanismos com requisitos de processamento mais onerosos (como alteração de cabeçalhos e redirecionamento interno) resultaram em diferenças perceptíveis no quesito de latência. Apesar de não ocasionar correlação significativa com as anomalias avaliadas, essa diversidade de mecanismos serviu para adicionar representatividade aos resultados, uma vez que diferentes mecanismos ativos foram avaliados.

Dentre as interfaces de comunicação avaliadas, *macvlan* em modo *bridge* apresentou as maiores capacidades de vazão, como previamente relatado. No entanto, é importante salientar que a reformulação de interfaces *veth* para comunicação direta entre *containers* manifestou capacidade comparável e obteve os melhores valores de latência média e de picos de latência, em especial nos casos de disputa de memória. Esses resultados indicam que boa parcela do déficit de desempenho apresentado por interfaces *veth* em estudos anteriores [Claassen et al. 2016] esteja mais relacionada aos níveis de indireção associados a sua mais comum implementação do que a alguma característica intrínseca de interfaces *veth*. Enquanto isso, *macvlan* apresentou os maiores picos de latência durante ataques à memória. Esse efeito pode ser justificado pelo fato de que a *pseudobridge* utilizada na comunicação *macvlan inter-container* é implementada via RAM, deixando-a possivelmente mais vulnerável à privação de memória principal.

Uma interessante relação de compromisso se apresenta na escolha entre essas interfaces de comunicação. Em termos de desempenho, diferentes prioridades entre capacidade de vazão e características de latência podem levar a diferentes escolhas de interfaces, em particular na configuração de cadeias de funções de rede. Em termos de isolamento, a configuração *veth direct* limita a capacidade de comunicação apenas ao *container* possuidor da interface pareada, enquanto que *macvlan bridge* permite a comunicação direta com todas interfaces que compartilhem a *bridge*. Em termos de configurabilidade, *veth direct* requer a instanciação de um par de interfaces para cada possível canal de comunicação *inter-container*, por outro lado, uma instância de *macvlan slave* possibilita comunicação entre múltiplos *containers*. Além disso, configurações dedicadas de *veth* facilitam a limitação de tráfego via *tc*, enquanto que tal tarefa é mais complicada com múltiplas interfaces se comunicando via *macvlan bridge*.

7. Conclusão

Este artigo apresentou uma análise das características de isolamento e desempenho de *containers* considerando múltiplas tecnologias de isolamento, comunicação, funções de rede e anomalias de execução. Com base nesses experimentos foi possível averiguar o impacto de exercer isolamento no desempenho de funções de rede quando o sistema está sob extenuação de recursos. Os experimentos realizados não só evidenciaram um baixo custo no desempenho de rede para o emprego de isolamento, mas, notavelmente, demonstraram quanto o isolamento de recursos pode contribuir para o desempenho em situações anômalas. Os resultados sugerem que *containers* conseguem prover um ambiente propício para o desempenho de NFV sem perder de vista questões de segurança e isolamento.

Além disso, foi apresentada uma avaliação de como as tecnologias de comunicação mais habitualmente utilizadas em *containers* influenciam na relação de isolamento e desempenho. Tal avaliação incluiu a reformulação de uma interface de comunicação que resultou em observações inovadoras sobre suas capacidades de desempenho e relações de compromisso na configuração de cadeias de funções de rede.

Como trabalho futuro, pretende-se explorar alguns fatores de teste adicionais. Em termos de tecnologia de comunicação, *overlay networks*, mecanismos de comunicação externa e tecnologias como DPDK representam aspectos promissores que poderiam se beneficiar de estudos semelhantes. Tais fatores podem desvendar propriedades de comunicação entre *containers* localizados em diferentes dispositivos físicos de virtualização, de forma complementar às tecnologias avaliadas neste artigo. Em termos de plataformas de virtualização, *containers* de sistema, particularmente o LXD, merecem o mesmo método de análise. Considerando tecnologias de isolamento, outros mecanismos como *SELinux* e *Smack* representam alternativas interessantes. Um dos desafios no contexto de isolamento é referente a como ataques de segurança podem influenciar no desempenho das funções vizinhas. Tal cometimento se vê dificultado pela variedade significativa de estratégias de segurança e de invasão, cada qual com seu espectro de impacto. Em termos de anomalias, outros artifícios podem ser usados para simular cargas de trabalho mais específicas, as quais possibilitam a descoberta de novas interações com as tecnologias usuais. Em específico, avaliar a resposta de um ataque interno de *Denial of Service* pode elucidar características essenciais das tecnologias de comunicação e isolamento, as quais podem ser determinantes para a adequação de *containers* em NFV.

Referências

- Anderson, J., Hu, H., Agarwal, U., Lowery, C., Li, H., and Apon, A. (2016). Performance considerations of network functions virtualization using containers. *2016 International Conference on Computing, Networking and Communications, ICNC 2016*.
- Barbosa, J., Oliveira, V., Bandini, M., Schulze, B., and Mury, A. (2014). N-Clusters : Ferramenta para a Gerência de Ambientes de Computação Massivamente Paralela e Distribuída. *XXXII Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos*, pages 1003–1010.
- Claassen, J., Koning, R., and Grosso, P. (2016). Linux containers networking: Performance and scalability of kernel modules. *Proceedings of the NOMS 2016 - 2016 IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium*, pages 713–717.
- Felter, W., Ferreira, A., Rajamony, R., and Rubio, J. (2015). An updated performance comparison of virtual machines and Linux containers. *2015 IEEE International Symposium on Performance Analysis of Systems and Software (ISPASS)*, pages 171–172.
- Han, B., Gopalakrishnan, V., Ji, L., and Lee, S. (2015). Network function virtualization: Challenges and opportunities for innovations. *IEEE Communications Magazine*, 53(2):90–97.
- Heideker, A. and Kamienski, C. (2016). Gerenciamento Flexível de Infraestrutura de Acesso. *XXXIV Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos*.
- Mijumbi, R., Serrat, J., Gorricho, J.-I., Bouten, N., Turck, F. D., and Member, S. (2016). Network Function Virtualization : State-of-the-Art and Research Challenges. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 18(1):236–262.
- Morabito, R., Kjällman, J., and Komu, M. (2015). Hypervisors vs. lightweight virtualization: A performance comparison. *Proceedings - 2015 IEEE International Conference on Cloud Engineering, IC2E 2015*, pages 386–393.
- Netto, H., Lung, L. C., Correia, M., and Luiz, A. F. (2016). Gerenciamento Flexível de Infraestrutura de Acesso. *XXXIV Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos*.
- Souza, J., Santos, A., Bandini, M., and Kl, H. (2016). Rufus : Ferramenta para o Gerenciamento de Infraestrutura para a Execução de Aplicações em Containers. *XXXIV Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos*.

Uma Abordagem Hierárquica para Escalonamento de *Workflows* Científicos Executados em Nuvens *

Igor Barreto Rodrigues¹, Daniel de Oliveira¹

¹Instituto de Computação – Universidade Federal Fluminense (IC/UFF)

{ibarroto, danielcmo}@ic.uff.br

Resumo. Os *Workflows* científicos são utilizados para modelar experimentos baseados em simulação onde cada simulação é composta por diversos programas que possuem dependência de dados entre si. Muitas dessas simulações necessitam executar em ambientes de alto desempenho para terminar em tempo hábil. Executar *workflows* nesses ambientes envolve escalonar atividades dos *workflows* em diferentes recursos. Muitos escalonadores tradicionais buscam otimizar apenas o tempo de execução, porém em cenários mais reais existem vários fatores a serem considerados, e.g. consumo de energia e custo financeiro. Algumas abordagens recentes já levam em consideração múltiplos objetivos, porém muitas delas utilizam funções objetivo ponderadas que podem se tornar um problema quando muitos objetivos são considerados. Esse artigo propõe uma abordagem que usa múltiplas funções objetivo de forma hierárquica, onde os múltiplos objetivos são levados em consideração em uma determinada ordem estabelecida pelo cientista. Foram executados experimentos em *workflows* sintéticos e reais na nuvem da Amazon EC2. Os resultados obtidos apresentaram melhoras no objetivo escolhido para otimização.

1. Introdução

Experimentos *in silico* são aqueles em que modelamos fenômenos reais por meio de simulações computacionais [Deelman et al. 2009]. Esses experimentos são comumente compostos por diversos programas que possuem uma dependência de dados entre si. Esse conjunto de programas e as restrições de precedência são conhecidos como *workflows* científicos e são um paradigma popular usado por cientistas para a modelagem de simulações computacionais. Cada atividade do *workflow* está associada a um programa de computador, e cada execução de uma atividade é chamada de ativação. Cada ativação processa um conjunto de dados de entrada e produz um conjunto de dados de saída [Ogasawara et al. 2011]. Os *workflows* são gerenciados por sistemas complexos chamados de Sistemas de Gerência de *Workflows* Científicos (*i.e.* SGWfC). Muitos *workflows* consomem e produzem um grande volume de dados e necessitam de ambientes de processamento de alto desempenho (PAD), e.g. nuvens de computadores [Vaquero et al. 2008].

A nuvem é capaz de fornecer um ambiente favorável para a execução de *workflows*, pois além da disponibilidade, os cientistas podem explorar a elasticidade, *i.e.* a capacidade de aumentar e/ou diminuir a quantidade de máquinas virtuais (VMs)

*Este artigo foi financiado parcialmente pelo CNPq e FAPERJ

criadas para executar o *workflow*. Na nuvem, o cientista paga apenas pelos recursos que consumir (*pay-per-use*) [Vaquero et al. 2008]. Para que a nuvem possa ser utilizada em sua capacidade máxima, os SGWfCs existentes devem ser capazes de distribuir as execuções dos *workflows* nestes ambientes. Existem diversos SGWfCs que apoiam a execução em nuvens como o Pegasus [Deelman et al. 2007], o Swift/T [Zhao et al. 2007] e o SciCumulus [Oliveira et al. 2012], que foi o SGWfC utilizado neste artigo, pois realiza o escalonamento de *workflows* baseado em múltiplos objetivos.

O SciCumulus [de Oliveira 2012] é um SGWfC adaptativo em relação ao estado dos recursos computacionais na nuvem. Ele é capaz de verificar a capacidade computacional e ajustar dinamicamente a distribuição das ativações e a capacidade computacional do ambiente a fim de alcançar um melhor desempenho. Seu escalonador atual considera 3 objetivos: o tempo de execução, o custo financeiro e a confiabilidade. Embora o SciCumulus seja capaz de otimizar o escalonamento baseado em um modelo de custo com três objetivos, a prioridade dos mesmos é definida pelo cientista de forma ponderada, o que pode gerar 2 problemas: (i) ao se executar um *workflow* pela primeira vez, o cientista não tem ideia alguma de como o mesmo se comportará baseado nos pesos de entrada, somente após várias execuções e ajustes é que o cientista consegue obter um resultado mais próximo do que deseja e (ii) a medida que adicionamos mais objetivos ao modelo (*e.g.* o consumo de energia), mais difícil se torna a função objetivo definir o melhor escalonamento [Oliveira and Saramago 2010].

Neste artigo, ao invés de utilizarmos uma função multi-objetivo ponderada, propomos o uso de múltiplas funções objetivo de forma hierárquica para otimizar múltiplos critérios do cientista, fazendo um balanceamento entre as restrições de custo financeiro, tempo de execução, tolerância a falhas e o custo energético. A abordagem proposta não utiliza mais pesos associados aos objetivos, e o cientista precisa somente definir a ordem de prioridade dos objetivos, montando portanto uma hierarquia. A avaliação experimental foi realizada comparando a versão atual do escalonador do SciCumulus, onde a função objetivo é ponderada e abordagem proposta. Os resultados apresentaram uma melhora considerável de desempenho no escalonador do SGWfC, maximizando os ganhos definidos pela ordem de prioridade do cientista. Foram realizadas avaliações com um *workflow* sintético e com um *workflow* real da área de bioinformática.

O restante deste artigo está estruturado da seguinte maneira. A Seção 2 apresenta trabalhos relacionados. A Seção 3 apresenta o formalismo utilizado. A Seção 4 apresenta a abordagem proposta. A Seção 5 aborda a avaliação experimental, e, finalmente, a Seção 6 conclui o artigo e discute sobre trabalhos futuros.

2. Trabalhos Relacionados

O escalonamento de atividades de *workflows* é um conhecido problema NP-difícil. Apesar disso, a maioria dos trabalhos busca soluções para otimizar apenas 1 ou 2 objetivos, porém na maioria dos casos são utilizados formalismos que agregam todos os objetivos em uma única função analítica, utilizando pesos para restringir alguns objetivos e maximizar outros. Garg *et al.* [Garg et al. 2009] utilizam um escalonamento que otimiza o *makespan* e a confiabilidade, por meio de um vetor de pesos. Assayad *et al.* [Assayad et al. 2004] e Hakem *et al.* [Hakem and Butelle 2007] utilizam abordagens similares para otimizar confiabilidade e tempo. A principal desvantagem dessas

abordagens é que a solução depende de uma combinação de pesos entre os objetivos para tentar atender as necessidades dos cientistas, que podem não conhecer como o *workflow* se comporta com determinados dados de entrada.

Sakellariou *et al.* [Sakellariou et al. 2007] que otimizam somente 2 objetivos e Fard *et al.* [Fard et al. 2012] que otimizam 4 objetivos (*makespan*, consumo de energia, custo monetário, confiabilidade) calculam a solução otimizando um objetivo e tentando não violar as restrições dos outros baseados nos requisitos do cientista. Essas abordagens foram propostas baseadas em *grids* computacionais e não em nuvens. Yu *et al.* [Yu et al. 2007] utilizam algoritmos genéticos para otimizar o *makespan* e o custo financeiro.

Pandey *et al.* [Pandey et al. 2010] utilizam uma heurística baseada em otimização de enxame de partículas para escalonamento em nuvens levando em consideração custo financeiro. A principal desvantagem é que sua abordagem demora muito a convergir, gerando um alto custo computacional. Além disso, não visa outros objetivos como, por exemplo, o tempo de execução. Duan *et al.* [Duan et al. 2014] geram o escalonamento otimizando tempo de execução e custo financeiro, porém com opções de restrição de largura de banda e armazenamento, utilizando um algoritmo baseado em teoria de jogos.

Diferentemente dos trabalhos relacionados, a abordagem hierárquica proposta nesse artigo se utiliza de múltiplas funções objetivo e atende a várias restrições escolhidas pelo usuário. Porém, não atribuímos pesos a cada objetivo a ser otimizado [Oliveira et al. 2012], ou tentamos otimizar determinada função e não violar as restrições das demais [Sakellariou et al. 2007]. A abordagem aqui proposta estende a proposta de Durillo *et al.* [Durillo et al. 2015], que busca encontrar um conjunto de soluções para cada VM que está envolvida na execução do *workflow*.

3. Formalismo Utilizado

A execução de um *workflow* pode ser longa, e, apesar do cientista geralmente desejar obter os resultados no menor tempo possível (o que o levaria a executar o *workflow* em máquinas mais robustas e mais caras), nem sempre ele possuirá valores financeiros suficientes para isso. Logo, existem métricas que podem ser escolhidas no momento da execução de forma a balancear os objetivos. Tais métricas podem ser usadas para definir um modelo de custo a ser utilizado para definir quais as melhores ativações para determinadas máquinas virtuais. Esse tipo de modelo de custo já é utilizado por SGWfCs como o SciCumulus [Oliveira et al. 2012]. No entanto, existe um objetivo que é adicionado ao modelo de custo nesse artigo que o SciCumulus não atendia até o momento: o custo energético. O formalismo aqui exposto, bem como cada função objetivo, é uma extensão do formalismo apresentado por de Oliveira [Oliveira et al. 2012].

Consideremos $VM = \{VM_0, VM_1, \dots, VM_{n-1}\}$ como o conjunto de n VMs criadas na nuvem e disponíveis para execução do *workflow*. Para cada VM, existe um valor associado a ela chamado de índice de retardo de computação (*csi*) (*computational slowdown index*) [de Oliveira 2012]. Neste artigo o valor de *csi* é obtido com base nos dados de proveniência das execuções anteriores do *workflow* [Freire et al. 2008], ou seja, é calculada uma média baseada nos tempos de execuções passadas de ativações dos *workflows*. Desta forma, a uma VM com desempenho mínimo será atribuído o valor 1 e as restantes com valores relativos (e.g. 1,72). Este índice também pode ser obtido

através da função $csi(VM_j)$.

Consideremos $P(ac_i, VM_j)$ como o tempo de execução previsto de uma ativação ac_i em uma VM_j na nuvem. Da mesma forma, $P(ac_i, VM_j) = tempo(ac_i) \times csi(VM_j)$, em que $tempo(ac_i)$ é uma função que retorna o tempo médio normalizado da execução de uma ativação, ou seja, calcula a média do tempo das execuções anteriores dividido pelo valor de csi das VMs onde as ativações foram executadas. Considere também $\varphi(W, VM)$ como sendo o escalonamento total das ativações pertencentes ao conjunto AC do *workflow* W em VM . Dado um *workflow* W que possui uma série de atividades $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ e um conjunto de ativações $AC = \{ac_1, ac_2, \dots, ac_k\}$, seja $\varphi(W, VM) = \{sched_1, sched_2, \dots, sched_k\}$ o conjunto dos escalonamentos para execução paralela do conjunto de ativações AC . O escalonamento de uma ativação é definido como $sched(ac_i, VM_j, inicio, fim)$, em que *inicio* é o tempo de início de execução de uma ativação ac_i em uma dada VM_j e *fim* o tempo fim. Conforme definido por [Oliveira et al. 2012], são definidos diversos escalonamentos (*sched*) ao longo da execução do *workflow*. Portanto é definido que $ord(sched_i)$ é a posição do $sched_i$ na ordem de sequência de todos os escalonamentos realizados, logo, temos $sched_i < sched_j \leftrightarrow ord(sched_i) < ord(sched_j)$.

A transferência de dados também é um custo importante e que deve ser contabilizado no custo total da execução do *workflow*. Como o SciCumulus lê e escreve em um *storage* compartilhado no Amazon S3 [Oliveira et al. 2012], todos os escalonamentos possíveis em $\varphi(W, VM)$ leem e escrevem o mesmo volume de dados, logo, o custo sempre será equivalente independente do escalonamento. Considere ac_i como uma ativação associada a uma atividade $a_i(Act(ac_i) = a_i)$ de um *workflow* W com tempo de execução definido em $tempo(ac_i)$ e com $sched(ac_i, VM_k)$ já definido. Agora considere uma ativação ac_j associada a atividade $a_j(Act(ac_j) = a_j)$ com dependência $DepAc(ac_i, ac_j, volume(ac_i, ac_j))$ e $sched(ac_j, VM_x)$, onde $volume(ac_i, ac_j)$ é a quantidade de dados transferidos entre ac_i e ac_j . Como $VM_k \neq VM_x$, é necessário incluir uma nova dependência de dados e uma ativação artificial em W para representar a transferência de dados entre ac_i e ac_j . Portanto, vamos substituir $DepAc(ac_i, ac_j, volume(ac_i, ac_j))$ por $DepAc(ac_i, ac_w, volume(ac_i, ac_j))$ e $DepAc(ac_w, ac_j, volume(ac_i, ac_j))$, em que ac_w é uma ativação artificial criada para representar a transferência. Logo teremos o tempo de execução da ativação ac_w :

$$tempo(ac_w) = \frac{volume(ac_i, ac_j)}{\min(network(VM_k), network(VM_x))} \quad (1)$$

Podemos então calcular o tempo total de transferência de dados (TT) para todas as ativações de W , assumindo que existam k atividades e portanto $k-1$ transferências:

$$TT = \sum_{w=0}^{k-1} time(ac_w) \quad (2)$$

A confiabilidade é um critério muito importante a ser considerado pelo cientista, uma vez que a nuvem pode apresentar flutuações de desempenho e até mesmo falhas (*i.e máquina reinicia, desliga, muda de servidor*). Dessa forma, definimos o chamado *custo de confiabilidade*. Esse custo define o impacto que uma falha pode gerar na execução

do *workflow*, *i.e.* se o custo for alto, há chance da execução ser altamente impactada por falhas. A taxa de falha de uma VM pode ser obtido como $F(VM_j), \forall VM_j \in VM$. Esse valor pode ser obtido com base nos dados de proveniência armazenados sobre um tipo de VM_j . O custo de confiabilidade é inversamente proporcional a confiabilidade da execução do *workflow* na VM. Esse custo representa o número médio de falhas que ocorrem durante um período de execução da ativação. Se o custo de confiabilidade for minimizado, aumentamos a confiabilidade da execução como um todo, dessa forma, o custo de confiabilidade de uma determinada ativação executar em uma máquina é representado por $R(ac_i, VM_j)$ e pode ser definido como:

$$R(ac_i, VM_j) = F(VM_j) \times P(ac_i, VM_j) \quad (3)$$

O consumo energético é uma preocupação recente que vem sendo agregada aos *SGWfC*, buscando atender não só as necessidades do cientista, mas também a questões ambientais [Durillo et al. 2014, Fard et al. 2012]. Assim, a métrica de consumo energético foi acoplada ao escalonador do SciCumulus. Considere $CPUCons(VM_j)$ como uma função que retorna o consumo da CPU por hora (*watts/hora*) de uma determinada VM_j , analogamente a função $RAMCons(VM_j)$ retorna o consumo da memória RAM de uma VM_j em (*watts/hora*). As informações sobre a CPU e RAM de cada máquina são fornecidas pelo próprio sítio da Amazon EC2, e com a referência de cada item é possível verificar o consumo energético no sítio do fabricante, que no caso é a Intel¹. Consideremos então que:

$$isSched(ac_i, VM_j) = \begin{cases} 1, & \text{se } sched(ac_i, VM_j) \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

Com isso, podemos calcular o consumo energético total a partir da soma de todos os tempos das ativações pertencentes a todas as atividades escalonadas nas VMs do *workflow* W . Assim, a Equação 5 calcula o consumo energético total $E(\varphi)$ de cada VM_j durante o processamento de todas as tarefas escalonadas para a mesma:

$$E(\varphi) = \sum_{i=0} \sum_{j=0} CPUCons(VM_j) \times P(ac_i, VM_j) \times isSched(ac_i, VM_j) + \\ RAMCons(VM_j) \times P(ac_i, VM_j) \times isSched(ac_i, VM_j) \quad (4)$$

Assim como a confiabilidade, o custo financeiro deve ser considerado em execuções no ambiente de nuvem, pois o cientista "aluga" máquinas por um período de tempo, pagando somente pelos recursos que consumir [Vaquero et al. 2008], mas deve-se usar de forma consciente, do contrário a execução pode se tornar bastante custosa. Como seguimos o modelo de cobrança da Amazon EC2, e a mesma possui um esquema de precificação por janela de tempo utilizada (1 hora), independente se a máquina está ociosa ou processando. Consideremos o custo monetário de execução como $M(\varphi)$. O tempo de execução total deve ser a soma das várias janelas de tempo de tamanho TQ o que nos leva ao conjunto $TQ = \{tq_1, tq_2, \dots, tq_x\}$ de janelas de tempo, onde denominamos o valor da janela de tempo a ser pago como $Vq(VM_j)$. Considere $Exec(tq_x, VM_j)$ uma função que retorne se a VM_j está executando uma ativação na janela de tempo δ_i , desta forma:

¹<http://www.intel.com.br/content/www/br/pt/homepage.html>

$$Exec(tq_z, VM_j) = \begin{cases} 1, & \text{se } VM_j \text{ roda } ac_i/ac_i \in Ac \text{ em } tq_z \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

Como a função $Exec(tq_z, VM_j)$ só calcula o custo de uso da VM enquanto a mesma está processando, precisamos considerar também o tempo em que a mesma se encontra ociosa aguardando a transferência de dados. Portanto, o cálculo do custo monetário fica dividido em duas partes: a primeira calcula o custo enquanto as máquinas estão processando as ativações, e a segunda parte calcula o tempo em que as máquinas aguardam o tempo de transferência dos dados:

$$M(\varphi) = (Vq(VM_j) \times \sum_{j=1}^{|VM|} \sum_{i=1}^{\frac{makespan}{|tq|}} Exec(tq_i, VM_j) + Vq(VM_j) \times \sum_{i=0}^k time(ac_j)) \quad (5)$$

Com isso obtemos o custo financeiro de cada VM, porém, ainda há outro fator a ser considerado, que é a unidade de informação transferida pela rede, pois os provedores de nuvem também cobram por isso. Dessa forma, temos o custo financeiro de transferência como $TR(\varphi)$. Considere como Vt o valor que o usuário tem de pagar por cada unidade de dados transferidos. Portanto o valor total a ser pago pela transferência de dados é:

$$TR(\varphi) = (Vt \times \sum_{j=0}^{k-1} \sum_{i=0}^{k-1} volume(ac_i, ac_j)) \quad (6)$$

4. Algoritmo de Escalonamento Proposto

O algoritmo de escalonamento proposto nesse artigo é uma variação do algoritmo de escalonamento guloso proposto por de Oliveira *et al.* [Oliveira et al. 2012] e que se encontra disponível para utilização no SGWfC SciCumulus². No algoritmo original proposto por de Oliveira *et al.*, uma única função objetivo é utilizada para escolher a VM mais adequada para se executar uma determinada ativação, e o cientista define a importância de cada objetivo por meio de pesos. Entretanto, quanto mais objetivos são adicionados a função, menos eficiente a função se torna [Oliveira and Saramago 2010].

O algoritmo proposto nesse artigo procura gerar um escalonamento que represente um *trade-off* entre múltiplos critérios (custo financeiro, tempo de execução, confiabilidade e custo energético) e que utilize múltiplas funções objetivo hierarquizadas ao invés de se utilizar uma única função objetivo ponderada. No algoritmo proposto, sempre que uma VM se torna disponível para executar uma ativação, é escolhida a ativação liberada (que não depende de mais nenhuma ativação para executar) mais adequada para sua execução. Como entrada, o algoritmo recebe um conjunto de VMs, um conjunto de ativações e suas dependências de dados e a hierarquia de critérios. Inicialmente são definidas todas as ativações disponíveis, *i.e.* que não possuem nenhuma dependência de dados associada a outra ativação.

Suponhamos que o cientista escolha a seguinte lista de prioridades para os critérios: consumo de energia, custo financeiro, confiabilidade e tempo de execução,

²<https://github.com/UFFeScience/SciCumulus>

conforme apresentado na Figura 1. Seguindo essa ordem, será(ão) escolhida(s) uma ou mais ativações para uma determinada VM que minimizam o critério de consumo de energia, primeiro objetivo e calculado utilizando a Equação 5. A partir do melhor valor retornado pela função objetivo, são selecionados todos os escalonamentos cujo valor difira de no máximo $x\%$ do melhor valor retornado (*threshold*). Esses escalonamentos são considerados como "empates" e, a partir daí, é utilizado o segundo critério para reduzir o tamanho da lista de escalonamentos. Essa ideia é similar a ordenação imposta por Sistemas de Gerência de Banco de Dados em consultas SQL que utilizam a cláusula *ORDER BY*, onde uma série de critérios de ordenação são definidos de maneira hierárquica. No caso do exemplo da Figura 1, o menor custo energético identificado foi 2.1. Para o *threshold* utilizado de 10%, duas ativações foram consideradas "empatadas": tanto a de custo 2.1 quanto a de custo 2.2. Assim as duas ativações são selecionadas e o algoritmo transita para o próximo critério que é custo financeiro. No critério de custo financeiro uma ativação tem custo 0.9 e a outra 2.7. Como o custo da segunda ativação supera o da primeira em mais de 10%, a primeira ativação é a escolhida para executar.

Uma restrição imposta no algoritmo proposto é que caso o mesmo alcance o último nível da hierarquia e ainda necessite transitar para outro critério pois os escalonamentos ainda se encontram "empatados", seria então escolhida a melhor ativação definida no primeiro critério, desconsiderando assim o *threshold*, *i.e.* o algoritmo tenta minimizar o máximo de critérios possíveis, porém caso não seja possível, o primeiro critério da lista é o escolhido. Assim, no pior caso, o algoritmo pode "degenerar" para uma otimização de um único objetivo.

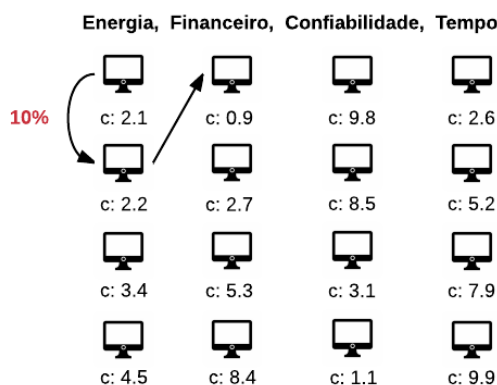


Figure 1. Exemplo de escalonamento hierárquico

Na próxima seção apresentamos como o algoritmo proposto foi avaliado utilizando-se *workflows* sintéticos e reais da área de bioinformática.

5. Avaliação Experimental

Esta seção apresenta a avaliação da abordagem proposta, explicando as ferramentas adotadas para execução, e as métricas utilizadas, bem como os parâmetros e ambientes onde foram executados os experimentos. Para os experimentos utilizamos o SGWfC SciCumulus [Oliveira et al. 2012] para gerenciar a execução do SciPhy [Ocaña et al. 2011], que é um *workflow* de análise filogenética, e que será explicado na subseção 5.1. O ambiente para execução dos testes foi a nuvem da Amazon EC2,

onde o mesmo foi executado em paralelo, tratado na subseção 5.3. Também foram feitos experimentos com um *workflow* sintético em um ambiente simulado baseado no WorkflowSim [Yang et al. 2014], tratado na subseção 5.2.

5.1. O *Workflow* SciPhy

O SciPhy é um *workflow* desenvolvido para gerar árvores filogenéticas, cujo objetivo é representar a semelhança entre os organismos, com base em sequências de aminoácidos, RNA ou DNA embutidos em arquivos de entrada no formato multi-fasta. Desta forma, o SciPhy auxilia a explorar a filogenia e determinar a vida evolutiva de genes ou genomas destes organismos [Ocaña et al. 2011]. Este *workflow* é composto por cinco atividades principais em sua versão 2.0 [Ocana et al. 2015]: (i) *DataSelection* (Seleção de dados e formatação); (ii) *Mafft* (Construção do alinhamento genético); (iii) *ReadSeq* (Conversão do formato de alinhamento); (iv) *ModelGenerator* (Eleição do modelo evolutivo) e (v) *RaXML* (Geração da árvore filogenética).

A primeira atividade (*dataselection*), que é implementada por um *script*, verifica a qualidade e o formato dos arquivos de entrada multi-fasta, sendo a operação mais rápida do *workflow*. A segunda atividade (*mafft*) faz a construção do alinhamento genético (MSA), recebendo como entrada os arquivos multi-fasta para produção do MSA. A próxima atividade é o *readseq*, que converte os arquivos de formato FASTA para o formato PHYLIP, que é o esperado nas próximas atividades. Na atividade *modelgenerator*, que é uma das mais demoradas no *workflow*, é realizado o teste em cada um dos arquivos de entrada produzidos pela atividade anterior, com o objetivo de encontrar o melhor modelo evolutivo a ser utilizado. Por fim, tanto o melhor modelo evolutivo quanto o MSA associado a ele são utilizados na tarefa de geração de árvore filogenética executada pelo *raxml*. Como o cientista ainda não sabe qual método de alinhamento irá produzir a melhor árvore, ele tem de executar o *workflow* diversas vezes, fazendo uma varredura de parâmetros e explorando diversos algoritmos de alinhamento possíveis. Mais informações a respeito do SciPhy podem ser obtidas em Ocaña *et al.* [Ocana et al. 2015].

5.2. Avaliação com o *Workflow* Sintético

Como forma de avaliar a abordagem proposta neste artigo, foram realizados dois experimentos. O primeiro deles utilizou um *workflow* sintético cujas informações de ativações foram inspiradas em perfis de aplicações reais de dinâmica de fluidos computacional. Além disso, foi necessário especificar os tipos de máquinas virtuais que processariam as ativações, e então foram atribuídas as mesmas configurações de um *cluster* com 4 máquinas da Amazon EC2³. O *cluster* simulado foi montado conforme mostra a Tabela 1.

O *workflow* sintético é composto por 595 ativações (uma para cada arquivo de entrada), que possuem dependência entre si, divididos em 5 fases de processamento (simulando 5 programas de um *workflow* real de dinâmica de fluidos computacional). Foram realizadas execuções cobrindo 4 cenários utilizando tanto a abordagem hierárquica proposta quanto a abordagem ponderada do SciCumulus, onde os objetivos estavam ordenados conforme a seguir:

³<https://aws.amazon.com/pt/ec2/instance-types/>

Quantidade	Tipo	Descrição
1	<i>M3.Medium</i>	Processador de 1 núcleo, com 3,75 GB de RAM
1	<i>M3.Large</i>	Processador com 2 núcleos e 7,5 GB de RAM
1	<i>M3.xLarge</i>	Processador com 4 núcleos e 15 GB de RAM
1	<i>M3.2xLarge</i>	Processador com 8 núcleos e 30 GB de RAM

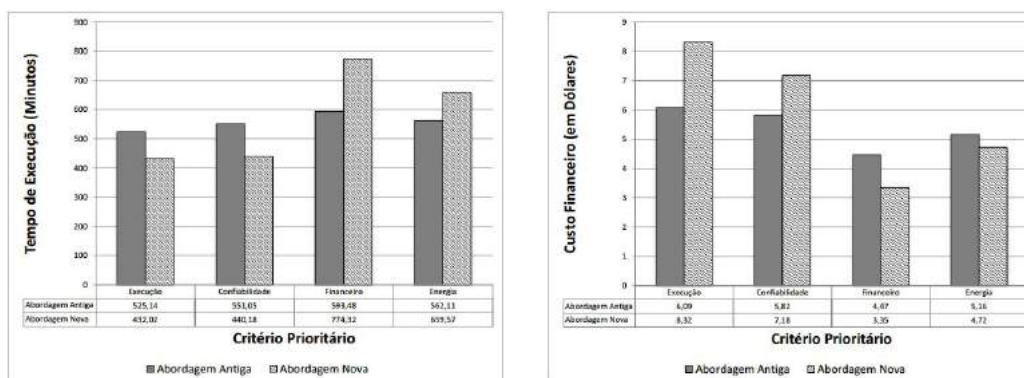
Table 1. Lista de Máquinas *Cluster* Sintético

Figure 2. (a) Tempo de Execução (b) Custo Financeiro

- Cenário 1** (Priorizando o Tempo de Execução): Modelo multi-objetivo (Peso 0.7 para objetivo de tempo de execução e 0.1 para demais objetivos) x Lista Hierárquica: Tempo de execução, Confiabilidade, Custo financeiro, Consumo de energia.
- Cenário 2** (Priorizando a Confiabilidade): Modelo multi-objetivo (Peso 0.7 para objetivo confiabilidade e 0.1 para demais objetivos) x Lista Hierárquica: Confiabilidade, Tempo de execução, Consumo de energia, Custo financeiro.
- Cenário 3** (Priorizando o Custo financeiro): Modelo multi-objetivo (Peso 0.7 para objetivo custo financeiro e 0.1 para demais objetivos) x Lista Hierárquica: Custo monetário, Consumo de energia, Confiabilidade, Tempo de processamento.
- Cenário 4** (Priorizando o Custo energético): Modelo multi-objetivo (Peso 0.7 para objetivo consumo de energia e 0.1 para demais objetivos) x Lista Hierárquica: Consumo de energia, Custo monetário, Confiabilidade, Tempo de processamento.

A Figura 2(a) apresenta o tempo de execução de cada um dos 4 cenários explicitados anteriormente (cada cenário tem um critério prioritário). A Abordagem antiga representa a função ponderada e Abordagem Nova representa múltiplas funções hierarquizadas. Para o Cenário 1 é fácil observar que a abordagem hierárquica terminou sua execução em um tempo menor, sendo portanto superior a abordagem ponderada. O mesmo aconteceu no Cenário 2, onde novamente a abordagem hierárquica completou a execução do *workflow* mais rapidamente que a abordagem com uso de pesos. Isso acontece devido ao fato de as melhores máquinas virtuais (mais potentes) são também as mais confiáveis (menos propícias a erros). No caso dos Cenários 3 e 4, o tempo de execução da abordagem hierárquica foi maior, uma vez que máquinas que consomem menos e que custam menos foram priorizadas. Essas máquinas são comumente menos potentes, logo o *workflow* executou em um tempo maior.

A Figura 2(b) representa o consumo financeiro em dólares dos 4 cenários executados. No Cenário 3, que prioriza o custo financeiro, a abordagem hierárquica foi superior a ponderada, com custo financeiro inferior, em que o cientista precisaria investir apenas 3,35 dólares enquanto que na abordagem ponderada seriam necessários 4,47 dólares. Os valores calculados para consumo financeiro foram baseados nas funções definidas nas Equações 6 e 7. O Cenário 4 priorizou o consumo de energia gasto e a abordagem hierárquica apresentou melhor desempenho. A Figura 3 mostra o consumo de energia para cada um dos 4 cenários, e no quarto conjunto de barras (relativo ao critério prioritário de energia) é possível notar que o escalonamento gerado pela abordagem hierárquica consumiu menos energia que a abordagem ponderada.

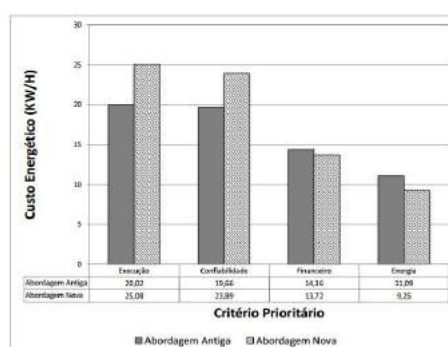


Figure 3. Custo Energético *Workflow* Sintético

Considerando todos os cenários executados com o *workflow* sintético, pode-se perceber então que um melhor escalonamento e consequente uso de recursos disponíveis é produzido pela abordagem hierárquica proposta.

5.3. Avaliação com o *Workflow* Real

Similarmente a avaliação com o *workflow* sintético apresentado na subseção 5.2, foram realizados testes com o *workflow* real SciPhy, descrito na subseção 5.1, com 250 arquivos multi-fasta de entrada. O SciPhy foi executado no ambiente de nuvem da Amazon EC2, porém nesse experimento utilizamos um *cluster* com 9 máquinas totalizando 32 núcleos virtuais, conforme apresentado na Tabela 2.

Quantidade	Tipo	Descrição
2	<i>M3.Medium</i>	Processador de 1 núcleo, com 3,75 GB de RAM
3	<i>M3.Large</i>	Processador com 2 núcleos e 7,5 GB de RAM
2	<i>M3.xLarge</i>	Processador com 4 núcleos e 15 GB de RAM
2	<i>M3.2xLarge</i>	Processador com 8 núcleos e 30 GB de RAM

Table 2. Lista de Máquinas *Cluster* Real

De forma a avaliar a abordagem proposta, o SciPhy foi executado no SciCumulus seguindo cada um dos 4 cenários apresentados anteriormente e para cada um deles o *workflow* foi executado com as duas versões do escalonador (hierárquico e ponderado). A primeira análise realizada foi em relação ao tempo de execução de cada uma das abordagens em cada um dos cenários propostos (*i.e.* prioridade dos critérios). A Figura 4(a) apresenta os tempos de execuções dos quatro cenários, em que o eixo vertical é

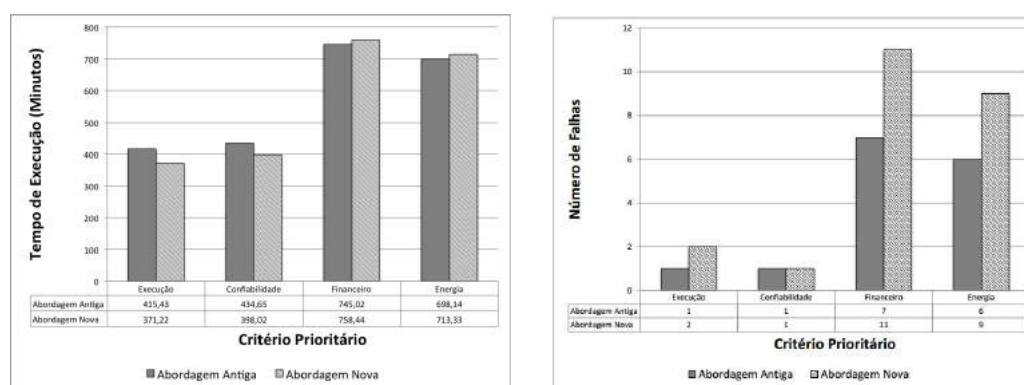


Figure 4. (a) Tempo de Execução (b) Confiabilidade

representado por tempo em minutos e o eixo horizontal os critérios que foram priorizados. Segundo o primeiro conjunto de barras (tempo de execução como critério prioritário), nota-se que a abordagem hierárquica levou apenas 371 minutos para concluir a execução do *workflow* enquanto ao utilizar o escalonador com pesos levou-se 415 minutos para concluir. Portanto, a abordagem hierárquica apresentou melhor desempenho. Podemos perceber também que mesmo quando o critério principal é a confiabilidade, também foi possível reduzir o tempo de execução, uma vez que as máquinas mais confiáveis são as mais rápidas. Já para os cenários onde os critérios de custo financeiro e custo de energia foram prioritários, o tempo de execução aumentou, uma vez que as máquinas com menor custo e menor consumo de energia são as mais lentas (*i.e* M3.medium) como pode ser observado na Figura 4(a).

Além do tempo de execução foram avaliadas as quantidades de falhas ocorridas em cada um dos cenários. A quantidade de falhas por execução do *workflow* real pode ser conferida com base no Gráfico apresentado na Figura 4(b). O cenário em que a confiabilidade era o critério prioritário apresentou a mesma taxa de falha na abordagem hierárquica e na abordagem com pesos. Porém, como o tempo de execução foi reduzido (Figura 4(a)) na abordagem hierárquica, podemos perceber que a mesma se torna mais interessante, pois manteve a taxa de falhas e reduziu o tempo de execução. Em todos os outros cenários, a taxa de falha aumentou com a utilização da abordagem hierárquica.

A terceira análise é relativa ao custo financeiro de cada cenário. Basicamente quando o cientista opta por minimizar prioritariamente o custo financeiro, ele está abrindo mão de desempenho e confiabilidade. Assim, a execução do *workflow* se caracteriza como uma execução mais longa e com mais falhas, pois máquinas mais baratas serão usadas prioritariamente. Logo, se analisarmos somente o cenário em que o custo financeiro é o prioritário pela Figura 5(a) nota-se no terceiro grupo que sua execução foi mais demorada, e para levar mais tempo, máquinas inferiores foram as mais utilizadas e por isso a ocorrência de falhas é mais presente (conforme já apresentado na 4(b)). Entretanto, como podemos observar na Figura 5(a), o custo financeiro desse cenário foi o menor (nas abordagens hierárquica e com pesos) e foi efetivamente reduzido utilizando-se a abordagem hierárquica. Pode-se perceber que mesmo quando o critério de consumo energético era o prioritário, a abordagem hierárquica ainda foi capaz de reduzir o custo financeiro associado.

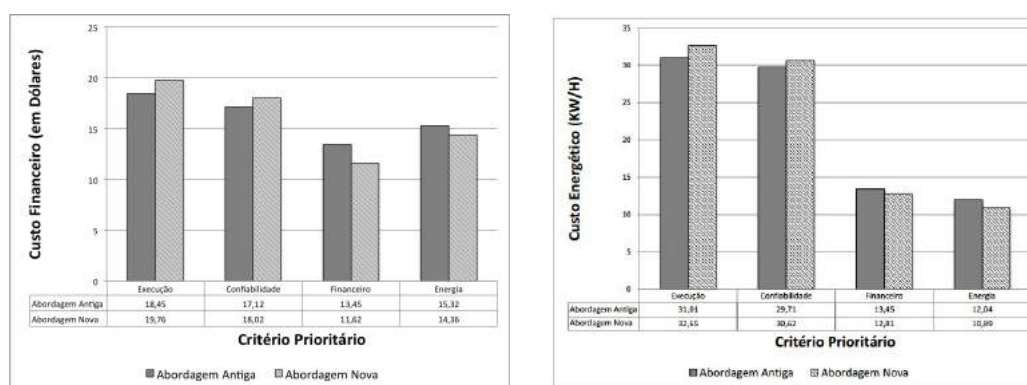


Figure 5. (a) Custo Financeiro (b) Consumo Energético

A quarta e última análise tem como objetivo verificar o consumo de energia do *cluster* durante a execução do *workflow*. Os valores de consumo energético podem ser obtidos na Figura 5(b). As máquinas que consomem menos energia (e para onde as maiores ativações são escalonadas quando se quer minimizar o custo de energia) são as com menor poder de processamento, conseqüentemente essas execuções tem seu tempo total como o segundo mais demorado, e a segunda maior ocorrência de falhas. Porém, ao analisarmos o consumo de energia somente, como apresentado na Figura 5(b) podemos perceber que quando o critério prioritário era o consumo energético, a abordagem hierárquica consumiu menos *kw/h* que a abordagem com pesos. De acordo com os resultados obtidos, a abordagem hierárquica obteve melhores resultados em todas as execuções do *workflow* real, comprovando que este tipo de escalonamento consegue obter melhores resultados do que uma abordagem ponderada em funções multiobjetivos, atendendo melhor as necessidades do usuário e proporcionando um ambiente mais real, com uma execução do *workflow* mais eficiente.

6. Conclusão e Trabalhos Futuros

Muitos dos escalonadores de SGWfCs existentes utilizam funções multi-objetivo ponderadas para escalonar as ativações do *workflow* em ambientes distribuídos como nuvens de computadores. Nesses sistemas, o cientista atribui pesos para cada objetivo, definindo assim o tipo de execução que atenda as suas necessidades. Esse tipo de abordagem acaba sendo complexa de ser utilizada por dois motivos principais: (i) o cientista pode não ter conhecimento suficiente para atribuir os pesos e (ii) quanto maior a quantidade de objetivos na função, pior pode se tornar o escalonamento, uma vez que os pesos dados aos objetivos se tornam "pulverizados".

Dados esses problemas e com o objetivo de evoluir ainda mais os escalonadores dos SGWfCs, baseado nas ideias de Durillo *et al* [Durillo et al. 2015] que utilizam a abordagem Pareto, em que é construída uma lista de escalonamentos como solução para atender a todos os objetivos do *workflow*, foi desenvolvido um novo escalonador hierárquico multiobjetivo nesse artigo. Esse escalonador utiliza múltiplas funções objetivo hierarquizadas. Os resultados experimentais mostraram que é factível o uso da abordagem hierárquica, uma vez que os critérios puderam ser minimizados como na abordagem com pesos. Como trabalhos futuros pretendemos evoluir a abordagem proposta para considerar ambientes de nuvens federadas, onde o usuário e o SGWfC

têm mais opções de VMs fornecidas pelos provedores de nuvens, conforme discutido por Durillo *et al.* [Durillo et al. 2015].

References

- Assayad, I., Girault, A., and Kalla, H. (2004). A bi-criteria scheduling heuristic for distributed embedded systems under reliability and real-time constraints. In *Dependable Systems and Networks, 2004 International Conference on*, pages 347–356. IEEE.
- de Oliveira, D. C. M. (2012). *Uma Abordagem de Apoio à Execução Paralela de Workflows Científicos em Nuvens de Computadores*. PhD thesis, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Deelman, E., Gannon, D., Shields, M., and Taylor, I. (2009). Workflows and e-science: An overview of workflow system features and capabilities. *Future Generation Computer Systems*, 25(5):528–540.
- Deelman, E., Mehta, G., Singh, G., Su, M.-H., and Vahi, K. (2007). Pegasus: mapping large-scale workflows to distributed resources. In *Workflows for e-Science*, pages 376–394. Springer.
- Duan, R., Prodan, R., and Li, X. (2014). Multi-objective game theoretic scheduling of bag-of-tasks workflows on hybrid clouds. *Cloud Computing, IEEE Transactions on*, 2(1):29–42.
- Durillo, J. J., Nae, V., and Prodan, R. (2014). Multi-objective energy-efficient workflow scheduling using list-based heuristics. *Future Generation Computer Systems*, 36:221–236.
- Durillo, J. J., Prodan, R., and Barbosa, J. G. (2015). Pareto tradeoff scheduling of workflows on federated commercial clouds. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 58:95–111.
- Fard, H. M., Prodan, R., Barrionuevo, J. J. D., and Fahringer, T. (2012). A multi-objective approach for workflow scheduling in heterogeneous environments. In *Proceedings of the 2012 12th IEEE/ACM International Symposium on Cluster, Cloud and Grid Computing (ccgrid 2012)*, pages 300–309. IEEE Computer Society.
- Freire, J., Koop, D., Santos, E., and Silva, C. T. (2008). Provenance for computational tasks: A survey. *Computing in Science & Engineering*, 10(3):11–21.
- Garg, S. K., Buyya, R., and Siegel, H. J. (2009). Scheduling parallel applications on utility grids: time and cost trade-off management. In *Proceedings of the Thirty-Second Australasian Conference on Computer Science-Volume 91*, pages 151–160. Australian Computer Society, Inc.
- Hakem, M. and Butelle, F. (2007). Reliability and scheduling on systems subject to failures. In *Parallel Processing, 2007. ICPP 2007. International Conference on*, pages 38–38. IEEE.
- Ocaña, K. A., de Oliveira, D., Ogasawara, E., Dávila, A. M., Lima, A. A., and Mattoso, M. (2011). Sciphy: A cloud-based workflow for phylogenetic analysis of drug targets in protozoan genomes. In *Advances in Bioinformatics and Computational Biology*, pages 66–70. Springer.

- Ocana, K. A., Silva, V., De Oliveira, D., and Mattoso, M. (2015). Data analytics in bioinformatics: Data science in practice for genomics analysis workflows. In *e-Science (e-Science), 2015 IEEE 11th International Conference on*, pages 322–331. IEEE.
- Ogasawara, E., Dias, J., Oliveira, D., Porto, F., Valduriez, P., and Mattoso, M. (2011). An algebraic approach for data-centric scientific workflows. *Proc. of VLDB Endowment*, 4(12):1328–1339.
- Oliveira, D., Ogasawara, E., Ocaña, K., Baião, F., and Mattoso, M. (2012). An adaptive parallel execution strategy for cloud-based scientific workflows. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, 24(13):1531–1550.
- Oliveira, L. S. d. and Saramago, S. A. F. P. (2010). Multiobjective optimization techniques applied to engineering problems. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 32:94 – 105.
- Pandey, S., Wu, L., Guru, S. M., and Buyya, R. (2010). A particle swarm optimization-based heuristic for scheduling workflow applications in cloud computing environments. In *Advanced information networking and applications (AINA), 2010 24th IEEE international conference on*, pages 400–407. IEEE.
- Sakellariou, R., Zhao, H., Tsiakkouri, E., and Dikaiakos, M. D. (2007). Scheduling workflows with budget constraints. In *Integrated research in GRID computing*, pages 189–202. Springer.
- Vaquero, L. M., Rodero-Merino, L., Caceres, J., and Lindner, M. (2008). A break in the clouds: towards a cloud definition. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 39(1):50–55.
- Yang, M., Rutherford, B., and Qian, K. (2014). Learning cloud computing and security through cloudsim simulation. In *Proceedings of the 2014 Information Security Curriculum Development Conference, InfoSec '14*, pages 6:1–6:1, New York, NY, USA. ACM.
- Yu, J., Kirley, M., and Buyya, R. (2007). Multi-objective planning for workflow execution on grids. In *Proceedings of the 8th IEEE/ACM International conference on Grid Computing*, pages 10–17. IEEE Computer Society.
- Zhao, Y., Hategan, M., Clifford, B., Foster, I., Von Laszewski, G., Nefedova, V., Raicu, I., Stef-Praun, T., and Wilde, M. (2007). Swift: Fast, reliable, loosely coupled parallel computation. In *Services, 2007 IEEE Congress on*, pages 199–206. IEEE.

SR-MAC

Um Protocolo Cross-Layer baseado em Coloração de Grafos para Melhoria da Eficiência de Redes de Sensores Sem Fio

Bruno Rogério S. dos Santos¹, Leonardo S. Rocha¹,
Joaquim C. Júnior¹, Renan da S. Alves¹

¹Mestrado Acadêmico em Ciência da Computação (MACC)
Universidade Estadual do Ceará (UECE)

Caixa Postal 1531 – 60.714.903 – Fortaleza – CE – Brazil

brunoro1389@gmail.com, lsampaiorocha@gmail.com

celestino@larces.uece.br , renan.alves@aluno.uece.br

Abstract. *In this paper is presented the SR-MAC protocol, a cross-layer protocol based on the graph coloring for wireless sensor networks. The main characteristic of the protocol is an efficient use of the time slots allocated to the sensors, through a TDMA scheduling, offering scalability and efficiency in the transmission of collected data to the base station. The SR-MAC was validated through a specific simulator for sensor networks. The protocol presented good results when compared to protocols that do not reuse time slots, even in high density scenarios, being able to support 53% more nodes and having an energy efficiency in the data collection superior in more than 30%.*

Resumo. *Neste artigo é apresentado o protocolo SR-MAC, um protocolo cross-layer baseado em coloração de grafos para redes de sensores sem fio. A principal característica do protocolo é um uso eficiente dos intervalos de transmissão alocados aos sensores, por meio de um escalonamento TDMA, oferecendo escalabilidade e eficiência na transmissão dos dados coletados para a estação base. O SR-MAC foi validado por meio de um simulador específico para redes de sensores. O protocolo apresentou bons resultados quando comparado a protocolos que não fazem reuso dos intervalos de transmissão, mesmo em cenários com alta densidade, sendo capaz de suportar 53% mais nós e possuindo uma eficiência energética na coleta de dados superior em mais de 30%.*

1. Introdução

Uma rede de sensores sem fio (RSSF) consiste em sensores autônomos distribuídos espacialmente para monitorar condições físicas ou ambientais, tais como temperatura, som, vibração, pressão, movimento ou poluentes e passar cooperativamente seus dados através da rede para um local principal [Goyal and Tripathy 2012], responsável por processar tais dados e repassar a um usuário final. Este local é comumente conhecido como estação base. Por apresentarem características de comunicação sem fio, estes dispositivos precisam compartilhar o meio para uma transmissão de dados eficiente. Na necessidade de coordenar transmissões em ambientes deste tipo, a fim de que interferências e colisões sejam evitadas, são necessários protocolos para regulamentar o acesso ao meio [Huang et al. 2013].

Através do escalonamento TDMA, são atribuídos intervalos de tempo a cada sensor, de modo que cada sensor tenha seu determinado momento para transmitir seus dados, não interferindo na transmissão de outro sensor [Sgora et al. 2015]. Isso possibilita que a estação base faça um escalonamento da rede atribuindo faixas de tempo aos sensores, tomando cuidado com o sincronismo entre todos os componentes da rede. O escalonamento em redes de sensores também pode ser útil na diminuição do consumo de energia das baterias dos nós, pois através do escalonamento é possível fazer com que determinados sensores realizem transmissões e recepções de dados sem que haja colisões, enquanto outros nós ficarão em estado de espera, conseqüentemente, diminuindo o consumo de energia.

Além dos problemas relacionados à interferência, colisão de dados e o consumo de energia [Cunha et al. 2013], outro aspecto importante que deve se levar em conta em uma rede de sensores, é a escalabilidade da rede e a eficiência energética em relação a quantidade de dados entregues à estação base. Um protocolo escalável permite que uma topologia de rede aceite a entrada de mais nós sem piorar o desempenho e o funcionamento da rede. Quanto a eficiência de coleta, uma rede é eficiente na coleta de dados quando os sensores conseguem entregar uma grande quantidade de dados à estação base levando em conta o consumo de energia de suas baterias.

Neste artigo propõe-se o protocolo SR-MAC (*Spatial Reuse-Medium Access Control*), cuja principal característica é a reutilização dos intervalos de tempo de um quadro TDMA. O reuso dos intervalos tem como finalidade tornar o protocolo escalável, maximizar o desempenho da rede e as trocas de informações e tornar o protocolo eficiente em relação à coleta de dados da estação base. Para isso foi utilizada a heurística de coloração de grafos [Rocha 2012].

O restante do artigo está organizado da seguinte forma: a seção 2 aborda os trabalhos relacionados. A seção 3 apresenta o protocolo SR-MAC e suas características. Na seção 4 apresenta-se a configuração do ambiente experimental e os resultados obtidos, enquanto a seção 5 conclui o artigo e apresenta perspectivas de trabalhos futuros.

2. Trabalhos Relacionados

A fim de possibilitar escalabilidade, eficiência na coleta de dados pela estação base e evitar o desperdício de tempo, no intuito de maximizar o desempenho e as trocas de informações em torno da rede é que foi aplicada a ideia da reutilização dos intervalos de tempo através de um escalonamento TDMA no protocolo SR-MAC. Além disso, protocolo SR-MAC também se preocupa com o atraso das transmissões por ser um protocolo aplicado para rede de sensores de múltiplos saltos [El Gamal and Kim 2011]. Os protocolos a seguir foram escolhidos para comparação pela semelhança com o protocolo proposto.

O Protocolo SOTP [Wang et al. 2006] é um protocolo *cross-layer* baseado no esquema de acesso ao meio TDMA [Mittra 2009]. O SOTP adota um escalonamento inverso como forma de reduzir eficientemente os atrasos das transmissões em uma rede de múltiplos saltos. Esse escalonamento consiste na alocação de intervalos de tempo do fim ao início do quadro TDMA aos sensores da rede. Assim serão alocados aos primeiros nós que se registrarem na rede, os intervalos de transmissão dispostos no fim do quadro e aos últimos nós a se registrarem, os intervalos dispostos no começo do quadro. Este processo ocorre até que todos os nós da rede estejam registrados. Desta forma, a

informação originada em um nó poderá ser entregue à estação base em um único quadro, diminuindo-se assim os atrasos. A diferença do SOTP para o protocolo proposto se dá pela não reutilização dos intervalos de transmissão.

No que se refere ao reuso dos intervalos TX, Gajjar *et al.* [Gajjar et al. 2014] propuseram um protocolo, flexível, eficiente em energia e de baixa latência, chamado SOFLEE (do inglês, *Self Organized, Flexible, Latency and Energy Efficient*). Neste protocolo a alocação dos intervalos de tempo é feita centralmente pela estação base. A alocação do mesmo intervalo TX acontece para os nós que estão há dois saltos ou níveis de distância. A rede no SOFLEE é setorizada em níveis, nós que estão distantes a dois níveis podem compartilhar o mesmo intervalo TX, proporcionando aumento na reutilização espacial do canal e diminuição na latência de dados. Já no SR-MAC a alocação dos intervalos TX também acontece centralmente pela estação base, porém utilizando um algoritmo de coloração que definirá os critérios de reutilização ou não do intervalo de transmissão.

Na mesma direção, porém usando uma heurística de grafos para possibilitar o reuso de intervalos de tempo, Wu *et al.* [Wu et al. 2010] propuseram um protocolo de escalonamento TDMA distribuído baseado em um algoritmo de coloração, fazendo uso da reutilização espacial do canal de transmissão, ou seja, possibilitando que diferentes sensores utilizem o mesmo canal de transmissão. Porém deve-se levar em consideração alguns aspectos, como o raio de alcance e a potência de transmissão dos sensores. O protocolo TDMA-CA aloca diferentes cores para os nós conflitantes na rede e providencia intervalos de tempo distintos para a transmissão de dados para cada cor através do escalonamento TDMA. O algoritmo de coloração do protocolo TDMA-CA serviu como base para a criação do algoritmo de coloração proposto para o protocolo SR-MAC, porém o algoritmo do TDMA-CA é distribuído, com os nós de rede participando ativamente no processo de coloração, o que difere do algoritmo proposto neste artigo, cuja coloração é de responsabilidade somente da estação base.

3. O Protocolo SR-MAC

O protocolo SR-MAC é um protocolo *cross-layer* que apresenta aspectos relevantes em relação ao roteamento da rede, porém se notabiliza pelo uso eficiente da camada de enlace, precisamente a parte que se refere ao controle de acesso ao meio (MAC). MAC (do inglês, *Medium Access Control*) é um termo utilizado para designar parte da camada de enlace e que tem como responsabilidade, transferir os pacotes de forma segura de um nó até o próximo nó adjacente, especificando as regras para transmissão dos dados pelo enlace [Kurose and Ross 2010].

O SR-MAC oferece um reuso eficiente dos intervalos por meio de um escalonamento TDMA utilizando a técnica de coloração de grafos. Utiliza mecanismos do SOTP [Wang et al. 2006] acrescentado de mecanismo para reuso de intervalos de transmissão e economia de recursos. O escalonamento é centralizado na estação base e acontece através da aplicação de um algoritmo de coloração. O reuso dos intervalos de transmissão irá potencializar o ciclo de trabalho dos sensores e tornar eficiente a coleta de dados da estação base. Este reaproveitamento tornará a rede escalável.

A coloração de grafos em uma rede de sensores consiste em atribuir cores, as quais estão associadas aos intervalos de tempo disponíveis em um quadro TDMA, aos sensores da rede. A medida que os nós forem se registrando na rede, serão alocados a eles

estes intervalos, e cada intervalo está associado a uma determinada cor. Para que um nó, ainda não registrado ou que entrou recentemente na rede, possa utilizar um intervalo que já esteja sendo utilizado por outro sensor devem ser satisfeitas algumas condições. Estas condições serão explicadas na subseção 3.2.

O processo de registro realizado pelo protocolo SR-MAC é auto-organizado e semelhante ao protocolo SOTP. A operação no SR-MAC é dividida em quadros, cada quadro dividido em intervalos de tempo de mesma duração. Cada sensor tem seu próprio quadro, este quadro deve estar sincronizado com os demais quadros da rede, incluindo-se o quadro da estação base, a fim de que o processo de registro do SR-MAC funcione perfeitamente.

Um quadro consiste de cinco tipos de intervalo de tempo: **intervalo broadcast (BRS)**, **intervalo de detecção de portadora (CSS)**, **intervalo de transmissão (TX)**, **intervalo de recepção (RX)** e **intervalo ocioso (IDS)**. Cada quadro possui um intervalo de tempo dedicado à estação base, o intervalo BRS, e um intervalo para detecção de portadora, o intervalo CSS. Os intervalos BRS e CSS são sempre o primeiro e segundo intervalo de tempo de um quadro, respectivamente. Estes intervalos aparecem no começo do quadro para que se tenha um melhor controle da rede e do processo de registro pela estação base. Cada nó passa por três estados: busca, sincronização e registro. Um nó não registrado pode ter apenas um pai, porém nada o impede de possuir muitos nós filhos. A seguir é descrito o processo de registro dos sensores junto à estação base no protocolo SR-MAC.

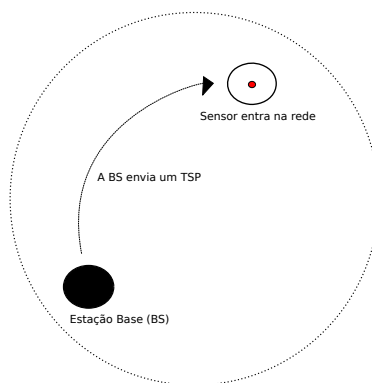


Figura 1. Estado de Busca

No estado de busca, representado pela Figura 1, o sensor escuta transmissões que estão dentro do seu raio de alcance, seja da estação base ou de outros sensores. Nesse estado, o sensor espera receber da estação base um TSP (do inglês, *Time Slot Packet*), um pacote de atribuição de intervalo de tempo, no qual contém as informações referentes aos intervalos que estão ocupados e desocupados no quadro TDMA, além das informações referentes ao estado de cada sensor.

O pacote TSP é enviado pela estação base, por meio de transmissão *broadcast* no intervalo BRS, a todos os sensores ativos na rede, a cada quadro TDMA que se repete. Ao receber o TSP, o sensor move-se para o estado de sincronização.

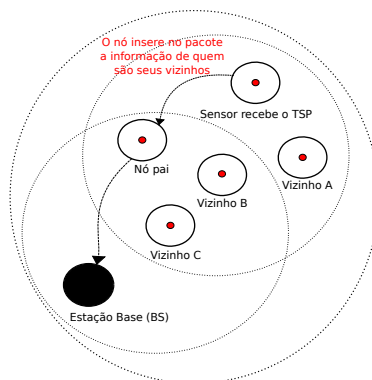


Figura 2. Estado de Sincronização

No estado de sincronização, representado pela Figura 2, o sensor escolhe um intervalo para ser o seu TX, a partir do TSP que recebeu, e um nó vizinho para ser o seu nó pai. Depois adiciona essas informações em um pacote REG que enviará ao nó pai escolhido, além de adicionar também informações sobre os ID's dos sensores vizinhos, no intuito de informar à estação quem são seus vizinhos e assim gerar o grafo de conflitos. O nó envia esse pacote REG tanto no intervalo CSS como no intervalo TX que escolheu. O nó pai por sua vez encaminha o pacote REG para o seu respectivo nó pai, e assim sucessivamente, até o pacote REG chegar à estação base.

Ao chegar na estação base, é aplicado um algoritmo de coloração no grafo de conflitos criado a partir das informações do pacote REG recebido. Este algoritmo será explicado na subseção 3.2 desta seção. O algoritmo é aplicado com base nas informações do nó pai escolhido, dos ID's dos nós vizinhos e dos nós filhos dos seus vizinhos. A partir da coloração do grafo de conflitos é possível saber se irá ser reutilizado ou não um determinado intervalo TX para o nó que quer se registrar.

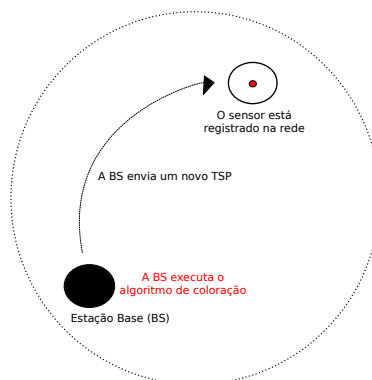


Figura 3. Estado de Registro

Na Figura 3, após alocar o intervalo TX para o nó, por meio do algoritmo de coloração, a estação base atualiza o TSP e o envia a todos os sensores da rede. Isso é necessário para que todos os sensores saibam quais nós atualmente estão registrados na rede e para que os nós pais, caso necessário, modifiquem seus intervalos RX de acordo com o intervalo TX do nó filho, pois o intervalo TX de um dos seus nós filhos pode ter

sido alterado ou não pela estação base durante o processo de registro. Ao receber o novo TSP, o sensor sabe se foi registrado ou não e se o intervalo que ele escolheu foi mantido ou não pela estação base. Assim, o sensor ao verificar que está registrado, move-se para o estado de registro e começa a colher dados e enviar para a estação base.

No caso de dois ou mais nós selecionarem o mesmo intervalo TX durante o processo de registro, a estação aloca diferentes intervalos para estes sensores, caso não se respeite as condições de coloração. Só há necessidade de retransmissões neste protocolo, se as informações de registro não chegarem até o destinatário final, no caso a estação base. Depois de todos os nós serem registrados, a árvore de roteamento da rede é terminada, assim é possível saber a rota que cada pacote transmitido pelos sensores irá trafegar. Com a aplicação da heurística de coloração de grafos é possível a ocorrência de múltiplas transmissões simultâneas evitando interferências e conflitos entre as transmissões dos sensores.

3.1. Roteamento da Rede

As rotas que interligam um sensor até a estação base são chamadas de caminhos de múltiplos saltos. Por utilizar-se de múltiplos saltos para o tráfego das informações, o protocolo SR-MAC adota a estratégia do escalonamento inverso, relatada na seção 2. Esta estratégia diminui o atraso em transmissões de múltiplos saltos, pois aumenta a probabilidade de que as informações transmitidas por um nó chegue à estação base em um único quadro. Porém quando há muitas reutilizações de intervalos de tempo e um nó pai com vários nós filhos, não há garantia de que a estratégia funcione dessa maneira. De qualquer forma, diminui-se o número de quadros necessários para que as informações cheguem até a estação base.

A fim de obter eficiência na implementação do escalonamento inverso foi criada uma heurística para ordenar a entrada dos nós no processo de registro. Para isso foi dado aos nós localizados mais próximos à estação base, os intervalos de tempo dispostos no final do quadro e aos nós localizados distantes, os intervalos de tempo disponíveis no começo do quadro, após os intervalos de tempo 0 e 1, que são os intervalos BRS e CSS, respectivamente. O algoritmo abaixo obtém a ordenação dos nós em relação à entrada no processo de registro. Dessa forma, os nós que estão próximos à estação base irão esperar menos tempo pra entrar no processo de registro do que os nós mais distantes da estação base.

Algoritmo 1: ALGORITMO DE ORDENAÇÃO

Entrada: n nós sensores
Saída: Tempo de espera t

- 1 **início**
- 2 **para** i de 1 a n **faça**
- 3 Fazer a distância relativa entre i e a Estação Base pela fórmula:
- 4 $Dist_{iBS} = \sqrt{(i_X - BS_X)^2 + (i_Y - BS_Y)^2}$
- 5 E fazer a divisão: $t = Dist_{iBS}/1,5$
- 6 **fim**
- 7 **fim**
- 8 **retorna** t

Onde i representa o ID de cada sensor e n o número de nós inseridos da rede. BS_X e BS_Y representam, respectivamente, as coordenadas X e Y da estação base, e i_X e i_Y representam, respectivamente, as coordenadas X e Y do sensor i . O cálculo da distância relativa entre cada sensor e a estação base tem como resultado o valor da distância em metros entre o sensor e a estação base. Essa distância representada pela variável $Dist_{iBS}$ é dividida por 1,5, valor esse que foi definido empiricamente a partir do comportamento dos nós na rede através de mais de 50 simulações, para cada topologia simulada. O valor dessa divisão retorna um tempo de espera específico para cada nó, ou seja, o tempo que um nó deve aguardar para entrar no processo de registro sem atrapalhar o processo de registro de outro nó.

Com esse algoritmo evita-se que todos os nós tentem se registrar ao mesmo tempo, o que resultaria em conflitos, e que não precisem esperar tanto tempo para entrar no processo de registro junto à estação base, minimizando o tempo de registro de todos os nós na rede. Nos experimentos mostrados na próxima seção, observou-se que esta estratégia resultou em uma boa organização da rede, evitando o uso de recursos desnecessários e possibilitando uma maior diversidade de nós pais.

Em relação a construção da árvore de roteamento, o critério de escolha do nó pai/filho implementado está relacionado com as distâncias dos nós sensores que querem se registrar com as distâncias dos seus vizinhos registrados e a distância em relação à estação base. A escolha dos nós pais se dá pelas equações 1, 2 e 3. Dessa forma o nó escolhido para ser o nó pai será o sensor que estiver na melhor posição entre o nó não registrado e a estação base quando comparado às distâncias dos outros vizinhos do nó que está no processo de registro, ou seja, será o nó pai o sensor que estiver mais próximo do nó não registrado e da estação base.

A escolha deste critério de nó pai/filho tem como objetivo fornecer estabilidade na comunicação entre os sensores e diminuir o consumo de energia das baterias. Estabilidade por causa do posicionamento do nó pai entre os seus nós filhos e a estação base e, também, economia de energia das baterias dos sensores pelo fato da pouca distância entre o nó filho e o nó pai.

$$D_{NV} = \sqrt{(N_X - V_X)^2 + (N_Y - V_Y)^2} \quad (1)$$

$$D_{VBS} = \sqrt{(V_X - BS_X)^2 + (V_Y - BS_Y)^2} \quad (2)$$

$$D_{NBS} = \sqrt{(N_X - BS_X)^2 + (N_Y - BS_Y)^2} \quad (3)$$

D_{NV} , D_{VBS} e D_{NBS} representam, respectivamente, a distância entre um nó não registrado e cada vizinho registrado, vizinho registrado e a estação base e um nó não registrado e a estação base. N_X e V_X representam, respectivamente, as coordenadas X de um nó que deseja se registrar e dos vizinhos registrados desse nó. E por último, N_Y e V_Y representam, respectivamente, as coordenadas Y de um nó não registrado e dos vizinhos registrados desse nó.

3.2. Escalonamento da Rede

O aprimoramento do escalonamento da rede no protocolo SR-MAC em relação a outros protocolos, se deve a implementação da reutilização dos intervalos de transmissão. Para implementar o reuso dos intervalos TX já utilizados por nós registrados na rede, utilizou-se o modelo de coloração de grafos, mais precisamente a coloração de vértices. Primeiramente é criado um grafo de conflitos, este grafo é construído através da matriz de adjacência armazenada na estação base. Esta matriz é criada a partir das informações fornecidas por cada sensor presente na rede, durante o processo de registro.

Com este grafo, a estação base sabe a vizinhança de cada sensor e assim o grafo de conflitos pode ser colorido, respeitando as regras de interferências citadas abaixo. Dessa forma é atribuída uma cor para cada nó da rede, sendo que esta cor é associada a cada intervalo de tempo existente no quadro TDMA, com exceção do intervalo BRS e do intervalo CSS. Para que os nós possam ser coloridos com a mesma cor, ou seja, receberem o mesmo intervalo TX de outros sensores, eles devem satisfazer as seguintes condições:

- 1) Os nós não podem possuir o mesmo intervalo TX dos seus vizinhos, assim a transmissão de um não interferirá na transmissão do outro, evitando a ocorrência de conflitos, como por exemplo, o problema do terminal exposto.
- 2) Os nós não podem possuir o mesmo intervalo TX dos vizinhos do nó pai escolhido, assim evitará a ocorrência do problema do terminal oculto em que dois nós que estão fora do alcance um do outro acabam transmitindo ao mesmo tempo para um mesmo nó, pois em redes de sensores um sensor transmite para todos os nós que estão dentro do seu raio de alcance e não somente para o nó destinatário.
- 3) Os nós não podem possuir o mesmo intervalo TX dos nós filhos de seus vizinhos, assim também evita outra possibilidade de ocorrência do problema do terminal oculto, evitando que ocorra colisão de dados em um dos seus vizinhos quando transmitir para todos os sensores que estão no seu raio de transmissão.

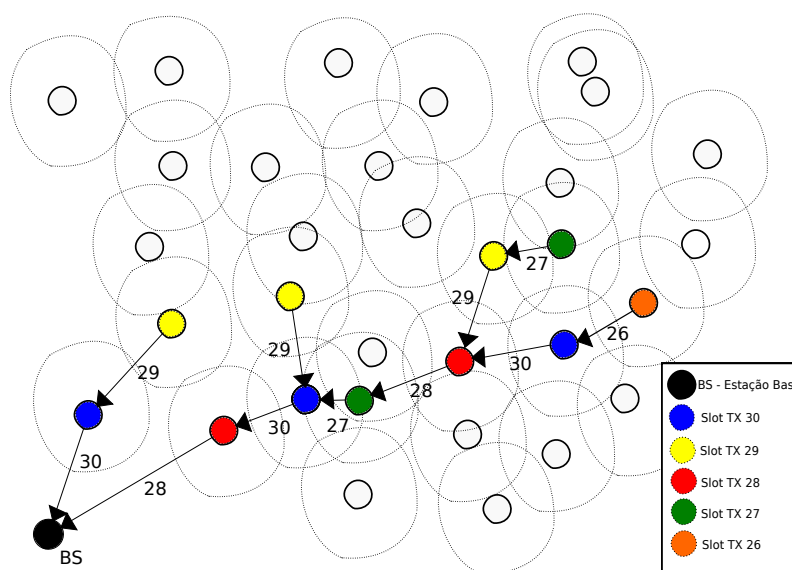


Figura 4. Exemplo de utilização do protocolo SR-MAC em alguns nós sensores da rede.

A Figura 4 mostra um exemplo de utilização do protocolo SR-MAC em alguns nós da rede. Para um mesmo cenário e a mesma quantidade de nós registrados podemos ver que houve reutilização dos intervalos de transmissão, pois quando a estação base aplicou o algoritmo de coloração nos sensores foi possível reaproveitar os intervalos sem causar interferência e conflito nas transmissões dos outros nós da rede. Assim, neste exemplo com 11 nós registrados foram precisos somente 5 intervalos de transmissão.

O algoritmo que retrata a coloração dos nós sensores a partir dos seus intervalos de transmissão, segue abaixo:

Algoritmo 2: ALGORITMO DE COLORAÇÃO

Entrada: Nó sensor, matriz de adjacência e o vetor de slots

Saída: A maior cor adequada para o nó sensor x

```

1 início
2   Criar vetor  $D[1, \dots, s]$  para guardar os slots disponíveis para o nó  $x$ 
3   para  $i$  de 1 a  $s$  faça
4      $D[i] = 1$  // Todos os slots estão disponíveis inicialmente
5   fim
6   Seja Slot( $i$ ) a função que retorna o slot do nó  $i$ 
7   para cada vizinho  $i$  de  $x$  no grafo de conflitos faça
8      $D[\text{Slot}(i)] = 0$  // Não está disponível, pois se o nó  $i$  transmitir ao
      mesmo tempo que o nó  $x$ , o nó  $y$  não receberá a mensagem
      corretamente
9   fim
10  para cada vizinho  $i$  de  $x$  no grafo de conflitos faça
11    para cada filho  $j$  de  $i$  no grafo de conflitos faça
12       $D[\text{Slot}(j)] = 0$  // Não está disponível, pois se o nó  $j$  transmitir ao
      mesmo tempo que o nó  $x$ , o nó  $i$  não receberá a mensagem
      corretamente
13    fim
14  fim
15 fim
16 retorna Slot( $x$ ) = maior slot disponível em  $D$  (com valor 1)

```

4. Análise das Simulações

Para a simulação da rede foi utilizado o *Castalia*, na versão 3.3 [Boulis et al. 2011]. Este *software* é um simulador de eventos discretos específicos para redes de sensores sem fio, sendo uma extensão do simulador de redes *OMNeT++*, cuja versão utilizada foi a 4.6 [Varga 2014]. O *Castalia* oferece modelagens realísticas do canal sem fio, gerenciamento da bateria e módulos de rádio de cada nó sensor. Para comparação com os resultados apresentados pelo SR-MAC ¹, mediante as métricas utilizadas, foi simulado também o protocolo SOTP.

Os nós sensores foram depositados no ambiente de forma aleatória seguindo uma distribuição uniforme e não possuindo nenhum aspecto de mobilidade. Cada nó, exceto a

¹Link para download da implementação do SR-MAC no *Castalia*: <https://bitbucket.org/masks/sr-mac/downloads/>

estação base, foi configurado com uma energia inicial de 10 joules para que as simulações não demorassem muito tempo. Foram utilizadas topologias com 50, 100 e 150 nós e uma área de cobertura 100m x 100m.

Tabela 1. Cenários utilizados para as simulações dos protocolos.

Cenário	Quantidade de Nós	Área (m x m)	Posição da Estação Base
1	50	100 x 100	(10, 10)
2	100	100 x 100	(10, 10)
3	150	100 x 100	(10, 10)

Os protocolos foram executados em execuções parciais de 200, 400, 600, 800 e 1000 segundos a fim de obter um resultado comparativo para as métricas analisadas em cada um desses períodos. A estação base foi configurada com uma potência muito alta, a fim de que seu raio de transmissão alcance todos os nós da rede, para que assim, os pacotes TSP sejam enviados a todos os sensores, de modo que o processo de registro dos nós na rede tenha êxito. Já os sensores foram configurados com uma potência muito baixa. O valor configurado para a duração de cada intervalo de tempo do quadro foi de 5 *milissegundos*.

O modelo de interferência acumulativa foi utilizado nas simulações dos protocolos. Os nós foram configurados para transmitir o máximo de pacotes dentro do intervalo de transmissão dedicado a eles. O intuito foi de avaliar o desempenho dos dois protocolos quanto ao número de transmissões por intervalo TX. Sendo assim possível medir a eficiência de pacotes transmitidos pelos sensores durante o mesmo período de tempo.

Os valores para o tamanho do quadro foram configurados de acordo com o número de sensores presentes em cada cenário, mais o intervalo de tempo dedicado a estação base, ou seja o intervalo BRS, levando-se em conta também a duração de cada intervalo de tempo, que é de 5 milissegundos. Por exemplo, para um cenário com 50 nós, o tamanho do quadro será 0,255 segundos, pois $(50 \text{ intervalos TX} + 1 \text{ intervalo BRS}) * 5\text{ms} = 0,255 \text{ segundos}$.

Dessa forma, o tamanho do quadro na simulação do protocolo SOTP para os cenários 1, 2 e 3 foram configurados com os valores de *0,255 segundos*, *0,505 segundos* e *0,755 segundos*, respectivamente, de acordo com o número de sensores presentes em cada cenário e a duração do intervalo de tempo. Já para o protocolo SR-MAC, de acordo com a quantidade de intervalos de transmissão necessária para cada topologia, que diferentemente do protocolo SOTP, não é necessário que a quantidade de intervalos TX seja a mesma que a quantidade de sensores presentes na rede. A quantidade de intervalos TX necessária para cada topologia no SR-MAC, observada através das simulações, é mostrada na Tabela 2. Os cenários 1, 2 e 3 foram configurados para *0,18 segundos*, *0,305 segundos* e *0,355 segundos*, respectivamente.

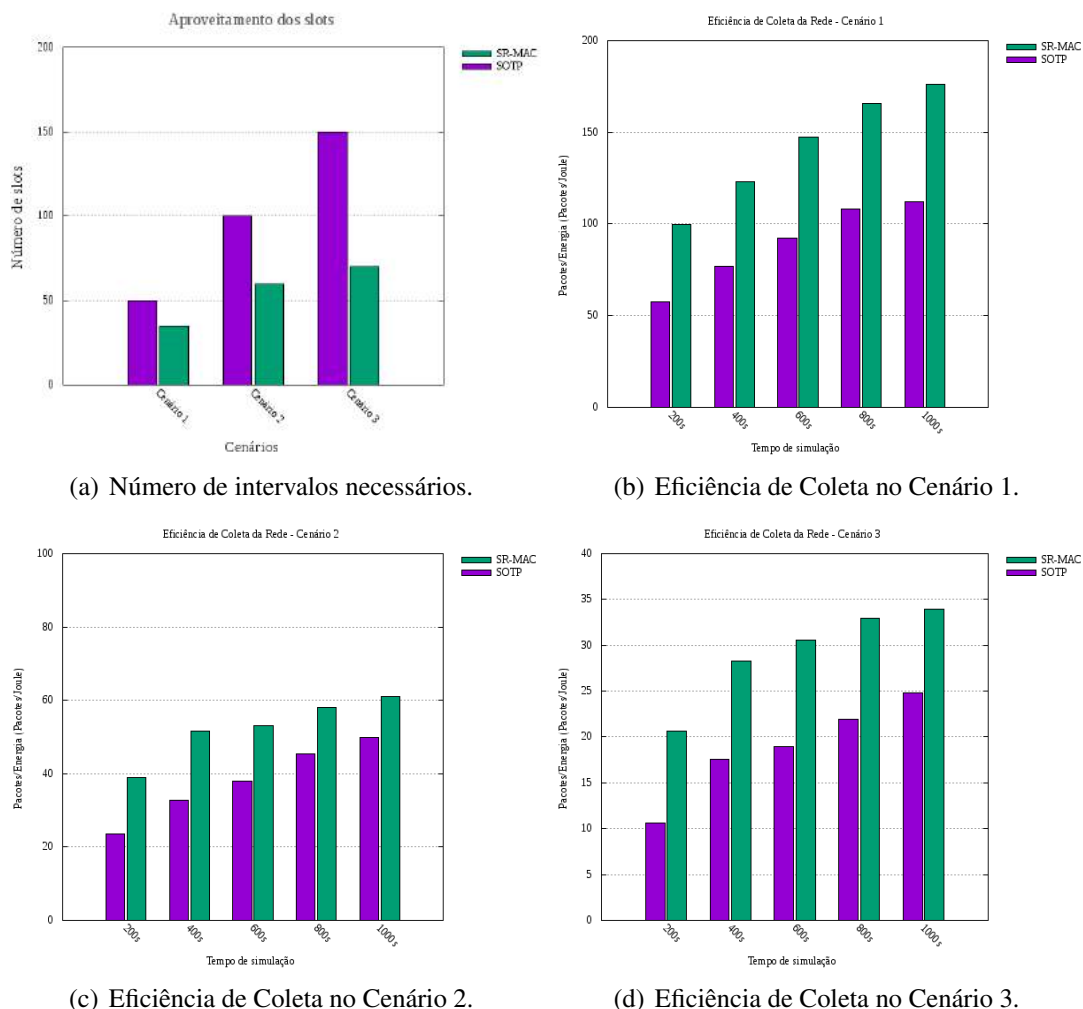


Figura 5. Métricas de Avaliação em relação à Estação Base.

A Figura 5(a) apresenta a quantidade de intervalos de transmissão necessários para cada cenário. Para estabelecer uma margem de segurança no SR-MAC em relação à quantidade de simulações realizadas e o número de intervalos necessários para cada cenário, esta métrica foi simulada 35 vezes e em cada simulação os nós foram depositados no ambiente de forma aleatória. Cada barra referente a cada cenário simulado representa a média das simulações realizadas. Observou-se que houve pouca dispersão dos dados em relação à média. O tempo de execução para estes testes foi de 200s, pois foi observado que este era o tempo máximo para que todos os nós da rede se registrassem.

Nessa métrica, o protocolo SR-MAC, precisou de menos intervalos de tempo em comparação ao protocolo SOTP. Como não há reutilização no protocolo SOTP, a quantidade necessária de intervalos em cada cenário, equivale a quantidade de nós presentes na rede. O SR-MAC apresentou no cenário 1 uma taxa de eficiência entre 30-46% em relação ao número de intervalos necessários em comparação ao SOTP. Já no cenários 2 e 3, o SR-MAC apresentou entre 40-50% e 53,33%-58%, respectivamente. A tabela 2 exhibe a margem de segurança para o protocolo SR-MAC em cada cenário.

Tabela 2. Quantidade de intervalos necessários no SR-MAC.

Cenário	Margem de Segurança
1	35 slots
2	60 slots
3	70 slots

As Figuras 5(b), 5(c) e 5(d) apresentam a eficiência de coleta através da quantidade de pacotes coletados pela estação base por energia gasta pela rede nos cenários 1, 2 e 3, respectivamente. Cada barra nos gráficos representa a média dos cálculos realizados para obter a eficiência de coleta em cada período das simulações realizadas. O cálculo demonstra a proporção entre o número de pacotes que chegam na estação base pela energia total gasta pela rede naquele período. Cada período estende-se de 0 até o valor descrito no eixo X de cada gráfico das Figuras 5(b), 5(c) e 5(d). A fórmula para o cálculo da eficiência de coleta em cada período segue abaixo:

$$\frac{PctBS_P}{\sum_{i=1}^n Ei_P} \quad (4)$$

Onde $PctBS_P$ representa o número de pacotes recebidos pela estação base no período P , e $\sum_{i=1}^n Ei_P$ o somatório de energia gasta por todos os nós da rede no período P . A partir dos resultados obtidos pelos gráficos acima, verifica-se que o protocolo SR-MAC apresentou uma eficiência de coleta maior que o protocolo SOTP. A eficiência de coleta pela estação base no protocolo SR-MAC é maior que no SOTP, como é possível ver na tabela 3, devido ao fato de que como o SR-MAC garante mais transmissões de dados, consequentemente, mais dados serão coletados mesmo que o consumo de energia da rede seja maior que o consumo no SOTP.

Tabela 3. Eficiência do SR-MAC em relação ao SOTP.

Cenário	1000s
1	36,42%
2	19,28%
3	26,77%

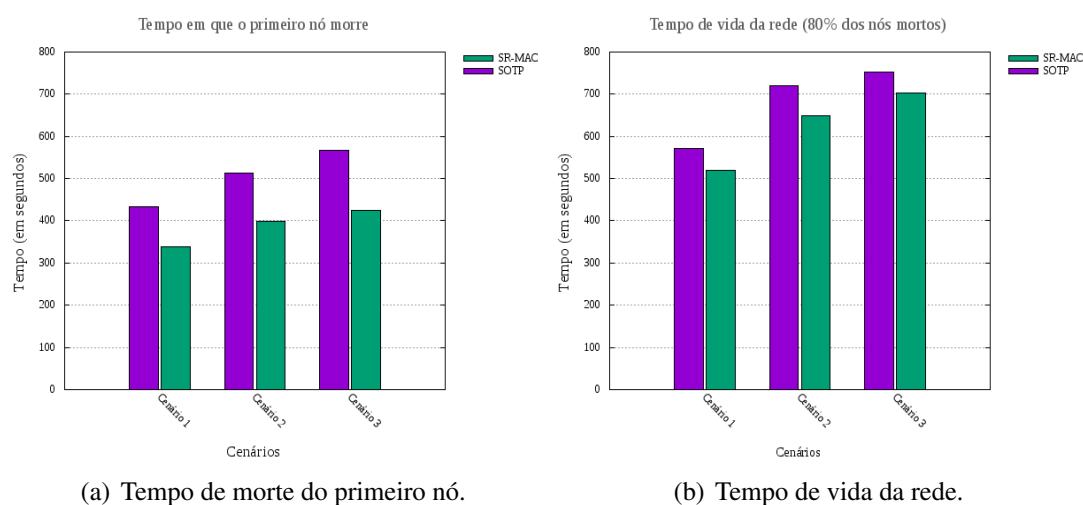


Figura 6. Métricas de Avaliação em relação ao funcionamento da rede.

As Figuras 6(a) e 6(b) apresentam o tempo de morte do primeiro nó e o tempo de vida da rede com 80% dos nós mortos, respectivamente. Na Figura 6(b), cada barra colorida de cada cenário representa a média de tempo, dentre as 35 simulações realizadas, em que a rede continua a funcionar mesmo tendo atingido 80% de nós mortos. Para essas métricas, os resultados obtidos pelo protocolo SOTP foram melhores em comparação ao SR-MAC. No SR-MAC, os nós morrem cedo devido ao fato de que o quadro se repete mais vezes em comparação ao SOTP. Com isso os períodos de transmissão e recepção dos nós acontecem com mais frequência, ocasionando um maior consumo de energia. Já o quadro no SOTP, por ser maior, se repete com menos frequência, resultando em tempos maiores em modo de baixo consumo (*sleep*) e em tempos menores de transmissão e recepção. Em relação ao gráfico da Figura 6(b), o protocolo SR-MAC apresentou um percentual de somente 9%, 9,83% e 6,58% abaixo do tempo de vida do SOTP para o cenário 1, 2 e 3, respectivamente.

5. Conclusão e Trabalhos Futuros

Através dos resultados obtidos, foi possível avaliar o impacto dos novos mecanismos introduzidos no SR-MAC, que permitiram o reuso de intervalos TX e melhorias na eficiência da rede. Além disso, observou-se que o protocolo SR-MAC apresentou bons resultados tanto para uma rede menos densa (Cenário 1) como para uma mais densa (Cenário 3), proporcionando ganho nas métricas relacionadas ao aproveitamento dos *slots* (quantidade de intervalos necessários) e à eficiência de coleta da estação base em comparação ao SOTP. O protocolo proporciona escalabilidade, possibilitando a inserção de mais nós na rede, gerando um aumento do fluxo de dados. O SR-MAC mostrou-se eficiente na coleta de dados captados pela estação base, mesmo os sensores apresentando um consumo de energia maior que os sensores no protocolo SOTP.

Para trabalhos futuros, pretende-se melhorar o SR-MAC em relação ao consumo de energia das baterias dos sensores e dar a possibilidade de recuperação da rede quando houver alguma falha na árvore de roteamento. Com isso, espera-se aumentar o tempo de vida da rede e tornar o protocolo ainda mais eficiente em relação ao fluxo de dados gerados pelos sensores e à coleta de dados captados pela estação base. Por fim, também pretende-

se comparar o SR-MAC com outros protocolos existentes na literatura que tratam deste mesmo assunto e que apresentam características semelhantes ao protocolo SR-MAC.

Referências

- Boulis, A. et al. (2011). Castalia: A simulator for wireless sensor networks and body area networks. *NICTA: National ICT Australia*.
- Cunha, F. D., Cunha, Í., Loureiro, A. A., and Oliveira, L. B. (2013). Uma nova abordagem para acesso ao meio em redes de sensores sem fio. *31º Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos*, pages 3–16.
- El Gamal, A. and Kim, Y.-H. (2011). *Network information theory*. Cambridge university press.
- Gajjar, S., Sarkar, M., and Dasgupta, K. (2014). Self organized, flexible, latency and energy efficient protocol for wireless sensor networks. *International Journal of Wireless Information Networks*, 21(4):290–305.
- Goyal, D. and Tripathy, M. R. (2012). Routing protocols in wireless sensor networks: a survey. In *2012 Second International Conference on Advanced Computing & Communication Technologies*, pages 474–480. IEEE.
- Huang, P., Xiao, L., Soltani, S., Mutka, M. W., and Xi, N. (2013). The evolution of mac protocols in wireless sensor networks: A survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 15(1):101–120.
- Kurose, J. F. and Ross, K. W. (2010). *Redes de Computadores e a Internet*, volume 5ª edição. Pearson.
- Mitra, A. (2009). Lecture notes on mobile communication. *A Curriculum Development Cell project Under QIP, IIT Guwahati*, pages 157–166.
- Rocha, L. S. (2012). *Algorithmic aspects of graph colouring heuristics*. PhD thesis, Nice.
- Sgora, A., Vergados, D. J., and Vergados, D. D. (2015). A survey of tdma scheduling schemes in wireless multihop networks. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 47(3):53.
- Varga, A. (2014). Omnet++ user manual version 4.6. <https://omnetpp.org/doc/omnetpp4/Manual.pdf>. (Acessado em: 30/06/2015).
- Wang, Y., Henning, I., Li, X., and Hunter, D. (2006). Sotp: a self-organized tdma protocol for wireless sensor networks. In *Electrical and Computer Engineering, 2006. CCECE'06. Canadian Conference on*, pages 1108–1111. IEEE.
- Wu, D., Wang, G.-Y., and Li, X.-L. (2010). Distributed tdma scheduling protocol based on conflict-free for wireless sensor networks. In *Intelligent Computing and Integrated Systems (ICISS), 2010 International Conference on*, pages 876–879. IEEE.

TRELIS: Posicionamento de Funções Virtuais de Rede com Economia de Energia e Resiliência

Gabriel F. C. de Queiroz^{1,3}, Rodrigo de S. Couto¹, Alexandre Sztajnberg² *

¹Universidade do Estado do Rio de Janeiro - PEL - DETEL/FEN

²Universidade do Estado do Rio de Janeiro - PEL - DICC/IME

³Universidade Federal do Rio de Janeiro - PEE/COPPE/GTA

gqueiroz@gta.ufrj.br, rodrigo.couto@uerj.br, alexszt@ime.uerj.br

Abstract. *Network Function Virtualization increases flexibility and reduces the costs of telecommunication infrastructures. To do so, network functions are implemented on virtualized servers, rather than embedded in dedicated equipment. One of the challenges of this approach is the placement of virtual network functions over the infrastructure, which must be resilient and energy-efficient. This work formulates a mixed integer programming problem to place such functions, choosing the servers meeting service demands. The problem formulated minimizes energy utilization and provides resilience to the services through function replication. As solution, TRELIS heuristic is proposed, which reduces the size of the problem and saves up to 15% of the energy consumption.*

Resumo. *A Virtualização de Funções de Rede aumenta a flexibilidade e reduz custos de infraestruturas de telecomunicações. Para tal, as funções de rede são implementadas em servidores virtualizados, ao invés de embarcadas em equipamentos dedicados. Um dos desafios dessa abordagem é o posicionamento de funções virtuais de rede, que deve ser resiliente e energeticamente eficiente. Este trabalho formula um problema de programação inteira mista para posicionar tais funções, escolhendo os servidores para atender às demandas de serviço. O problema formulado minimiza o uso da energia e provê resiliência aos serviços através de replicação de funções. Como solução, propõe-se a heurística TRELIS, que reduz o tamanho do problema e economiza até 15% da energia.*

1. Introdução

A Virtualização de Funções de Rede (*Network Functions Virtualization*, NFV) oferece uma alternativa ao uso de equipamentos dedicados (*middleboxes*), através da alocação de Funções Virtuais de Rede (*Virtual Network Functions*, VNF). As VNFs são módulos de *software* que oferecem os serviços dos *middleboxes* em servidores genéricos, amplamente disponíveis nas diversas instalações. Se por um lado abre-se mão de equipamentos construídos especificamente para prover serviços de rede, por outro lado as VNFs podem oferecer os mesmos serviços de forma modular e adaptável, resiliente e com qualidade aceitável, porém com menor custo [Mijumbi et al., 2015, John et al., 2013].

*Este trabalho foi realizado com recursos da FAPERJ, CNPq e CAPES.

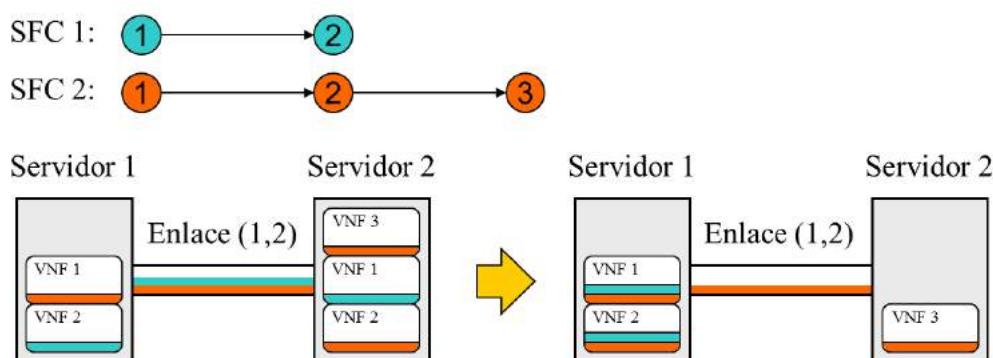


Figura 1. Compartilhamento de VNFs pelas SFCs.

Os serviços de NFV são providos por uma sequência de VNFs, denominada Encaideamento de Funções de Serviço (*Service Function Chaining*, SFC) [Sahhaf et al., 2015, Herrera e Botero, 2016]. Um dos desafios da abordagem NFV é a alocação ótima de SFCs em uma infraestrutura, garantindo a qualidade de serviço [Han et al., 2015]. Em um cenário geral, uma política de alocação deve considerar os recursos e requisitos demandados por várias SFCs, os recursos disponíveis nos servidores físicos e a largura de banda dos enlaces. Um servidor pode ser capaz de hospedar várias VNFs e, da mesma forma, uma VNF pode atender às requisições de várias SFCs [Herrera e Botero, 2016].

No posicionamento de SFCs, dois requisitos representam desafios interessantes: a resiliência e economia de energia. A resiliência pode ser garantida através da replicação de VNFs para manter as SFCs operantes mesmo em caso de falha [Couto et al., 2015]. A economia de energia pode ser alcançada por uma estratégia de compartilhar VNFs entre diversas SFCs, reduzindo os recursos ociosos e, conseqüentemente, o uso da energia. A Figura 1 ilustra à esquerda uma infraestrutura sem compartilhamento de VNFs pelas SFCs e, à direita, sua posterior reorganização considerando o compartilhamento. Como as duas SFCs solicitam duas VNFs do mesmo tipo, elas podem ser compartilhadas, já que as VNFs possuem capacidade para atender às requisições de ambas. Assim, são alocadas duas instâncias a menos no Servidor 2 e também é poupada a largura de banda no enlace.

Este trabalho formula um problema de Programação Linear Inteira Mista (*Mixed Integer Linear Programming*, MILP) para posicionar SFCs em uma infraestrutura. A formulação matemática do problema é resolvida para três redes, RNP, GEANT e RENATER, através do IBM CPLEX. No entanto, devido à elevada complexidade do problema, o consumo de memória e os tempos de execução inviabilizam a solução ótima. Assim, a heurística Redução em Árvore e Solução em Linha (*Tree REduction and Line Solution*, TRELIS) é proposta para reduzir o tamanho do problema, através da seleção de um número reduzido de nós na topologia para posicionar as SFCs. Os resultados mostram que a heurística é efetiva e economiza até 15% da energia dos servidores, ainda garantindo o funcionamento dos serviços provisionados se um servidor falhar.

O trabalho está estruturado da seguinte forma. A Seção 2 apresenta os trabalhos relacionados. Na Seção 3, discutem-se os conceitos e estratégias utilizados no trabalho. O problema de otimização é formulado na Seção 4. A Seção 5 descreve a TRELIS, enquanto a Seção 6 apresenta os experimentos realizados. Finalmente, a Seção 7 conclui o trabalho e aponta direções futuras.

2. Trabalhos Relacionados

O posicionamento de SFCs tem sido considerado em várias frentes de pesquisa. Em [Luizelli et al., 2015], é formalizado o problema de posicionamento de SFCs, com o objetivo de reduzir o número de VNFs alocadas e comparando valores de atraso fim a fim entre a solução proposta e infraestruturas tradicionais. O trabalho de [Sahhaf et al., 2015] considera SFCs formadas por serviços descritos em alto nível, que são decompostos em VNFs de baixo nível também ligadas em SFCs. Por exemplo, um *firewall* pode incluir uma VNF de filtragem *web* e uma de bloqueio de *malware*. O estudo de [Bari et al., 2016] trata do problema de orquestração de VNFs para reduzir despesas operacionais (*Operational Expenditures*, OPEX), minimizando os custos de implementação, consumo de energia e penalidades por violações em Acordos de Nível de Serviço (*Service Level Agreement*, SLA), considerando o consumo de energia como parte dos custos. O trabalho de [Mehrghadam et al., 2014] também se destina à alocação de recursos em NFV, mapeando as requisições de VNFs na rede para vários objetivos, como minimizar a latência nos enlaces criados, maximizar a largura de banda restante nos enlaces físicos ou minimizar o número de sítios com VNFs instanciadas. Em [Moens e De Turck, 2014], também é proposto um problema de posicionamento de SFCs, porém voltado para cenários híbridos, com *middleboxes* dedicados e VNFs instanciadas em servidores genéricos. O estudo de [Ma et al., 2015] aborda o problema de alocação de VNFs considerando a variação de tráfego, já que as VNFs podem tanto inserir tráfego em uma SFC quanto consumi-lo. Em [Clayman et al., 2014], é proposta uma arquitetura baseada em um elemento orquestrador que aloca os serviços de rede em nós virtuais. Embora os artigos citados tratem de diversos aspectos no posicionamento de SFCs, esses trabalhos de NFV não consideram resiliência e os serviços são interrompidos em caso de falha. Assim, a contribuição deste artigo é considerar a resiliência, além de minimizar o consumo de energia dos servidores.

Considerando a resiliência, uma estratégia baseada em replicação também é utilizada em [Couto et al., 2015], em que são utilizadas réplicas de centro de dados em redes geodistribuídas para prover resiliência em cenários de desastre, visando a sobrevivência do conteúdo armazenado. Já em [Rahman e Boutaba, 2013], é formulado um problema de alocação de recursos para Mapeamento de Redes Virtuais (*Virtual Network Embedding*, VNE) e são considerados aspectos de resiliência, já que o provisionamento das redes virtuais leva em conta falhas de enlace para incentivar a sobrevivência da rede, diferente deste artigo, que considera falhas de servidor. O problema de VNE é mais simples que o de NFV, pois o mapeamento ocorre em um nível, das redes virtuais para a infraestrutura. Em NFV, são dois níveis, das SFCs para as VNFs e dessas para a infraestrutura [Luizelli et al., 2015]. O VNE pode ser visto como um precursor do posicionamento em NFV.

3. Conceitos de Resiliência e Estratégia Adotada

O modelo de falha adotado considera que um servidor se torna inoperante na ocorrência de uma falha, ou seja, falhas silenciosas do tipo *fail-stop* [Tanenbaum e Van Steen, 2007]. Quando um servidor falha, suas VNFs e seus enlaces físicos tornam-se imediatamente inoperantes. Assim, as SFCs que atravessam o servidor que falhou são particionadas. Se houver algum servidor ligado ao restante da rede apenas por um enlace com servidor que falhou, esse também fica inalcançável. No entanto, considera-se que esse servidor isolado continua funcionando, apenas perdendo a conectividade com o restante da rede. As VNFs instanciadas nesse servidor continuam

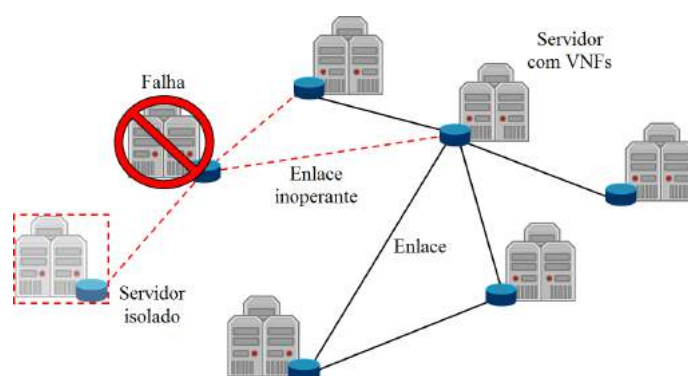


Figura 2. Elementos de um SRG são afetados pela mesma falha.

operacionais e podem ainda ser utilizadas nas SFCs, contanto que as mesmas não dependam de outro segmento da rede. A Figura 2 ilustra essas situações.

Como a falha de um servidor pode afetar outros elementos da rede, utiliza-se o conceito de Grupo de Risco Compartilhado (*Shared Risk Group*, SRG) [Couto et al., 2014]. Um SRG é composto por todos os elementos em uma determinada região afetados pela mesma falha. Na Figura 2, o SRG associado ao servidor que falhou é ilustrado pelos enlaces ligados a ele, tracejados, que ficam inalcançáveis quando a falha ocorre. O servidor dentro das linhas tracejadas também está inalcançável para o restante da rede, mas continua operacional, portanto não falha.

No modelo proposto, considera-se a falha de qualquer um dos servidores. Essa falha é mais crítica do que uma falha de enlace, já que quando um servidor fica inoperante seus enlaces também falham. O número de réplicas necessárias para tolerar k falhas silenciosas, do tipo *fail-stop*, é dado por $n = k + 1$ [Tanenbaum e Van Steen, 2007]. Apenas uma falha ($k = 1$) é considerada para simplificar o modelo, embora o mesmo possa ser expandido para tolerar mais falhas. Assim, para cada VNF operacional na SFC, deve haver uma réplica, isto é, uma VNF de *backup*. Essa réplica deve ter igual capacidade para poder substituir a VNF operacional correspondente em caso de falha, além de enlaces alternativos para preservar a integridade da SFC.

A Figura 3 mostra como a replicação de VNFs é aplicada a uma SFC e como os enlaces são construídos entre pares de VNFs. No lado esquerdo, é representada a SFC que o cliente solicita e, no lado direito, a SFC que deve ser alocada para garantir a resiliência. As linhas tracejadas indicam VNFs e enlaces virtuais de *backup*, enquanto as linhas cheias representam a SFC principal. Sendo assim, para cada VNF operacional há uma VNF de *backup* correspondente e, para cada enlace virtual da SFC principal, há três enlaces replicados interligando as VNFs que conectam. As VNFs dentro dos círculos são as funções de rede encadeadas que um usuário solicita ao seu provedor, como *firewall*, *proxy* e tradução de endereços [Mijumbi et al., 2015]. Já as VNFs em quadrados são as instâncias de *backup* e permitem que o serviço continue sendo provido, mesmo que um servidor da rede se torne inoperante. Portanto, para tornar a SFC resiliente na ocorrência de uma falha de servidor, a estratégia adotada consiste na replicação de cada VNF operacional solicitada em servidores diferentes dos das operacionais. Por exemplo, mesmo que as três VNFs 0, 1 e 2 da Figura 3 estejam hospedadas no mesmo servidor e ele falhe, as VNFs de *backup* das três continuam ativas e a SFC pode ser provida pelos enlaces $(0', 1')$ e $(1', 2')$.

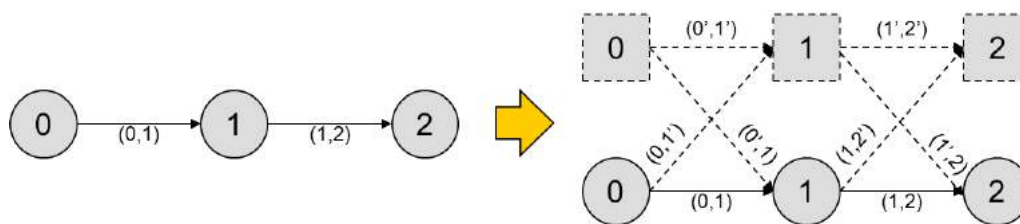


Figura 3. Exemplo de uma SFC qualquer com replicação de VNFs.

4. Formulação do Problema de Alocação com Replicação de SFCs

O problema de otimização formulado tem como objetivo reduzir o consumo de energia nos servidores, aproveitando as capacidades ociosas das VNFs operacionais. Além disso, o problema replica VNFs, garantindo resiliência para uma falha *fail-stop*.

A redução da quantidade de VNFs devido ao compartilhamento também pode reduzir o consumo de energia. Além disso, reduz-se o OPEX, já que os gastos com despesas de energia elétrica e manutenção de *hardware* e *software* diminuem. Embora necessitem estar alocadas e com recursos suficientes para seu funcionamento, as VNFs de *backup* permanecem inativas até que sejam eventualmente ativadas, utilizando técnicas de *cold standby*. Assim, apenas o consumo de energia das VNFs operacionais é considerado.

A Tabela 1 lista as variáveis, parâmetros e conjuntos utilizados na formulação do problema, bem como as notações utilizadas e suas descrições. A formulação é composta pela função objetivo e por restrições específicas.

Função objetivo. O modelo de energia é baseado em [Bari et al., 2016]. Nesse modelo, o consumo de energia pode variar entre o valor mínimo (\mathcal{E}_{min_i}), referente ao estado de *idle*, até o máximo (\mathcal{E}_{max_i}), que corresponde a 100% de uso do servidor. A Equação 1 é a função objetivo do problema MILP, que visa minimizar a parcela variável do consumo de energia, já que o consumo em *idle* é considerado fixo. Em seguida, são apresentadas as restrições para solução do problema e as equações de domínio de variáveis.

$$\text{minimizar } \sum_{i \in \mathcal{I}} \sum_{m \in \mathcal{M}} \sum_{j \in \mathcal{J}_m} (\mathcal{E}_{max_i} - \mathcal{E}_{min_i}) \cdot \frac{\mathcal{V}_{m,j}}{\mathcal{S}_i} \cdot y_{i,m,j} \quad (1)$$

$$\text{sujeito a } \sum_{m \in \mathcal{M}} \left(\sum_{j \in \mathcal{J}_m} \mathcal{V}_{m,j} \cdot y_{i,m,j} + \sum_{r \in \mathcal{R}_m} \mathcal{K}_{m,r} \cdot z_{i,m,r} \right) \leq \mathcal{S}_i \quad \forall i \in \mathcal{I} \quad (2)$$

$$\sum_{q \in \mathcal{Q}} \mathcal{F}_{m,q} \cdot a_{i,m,q} \leq \sum_{j \in \mathcal{J}_m} \mathcal{V}_{m,j} \cdot y_{i,m,j} \quad \forall i \in \mathcal{I}, m \in \mathcal{M} \quad (3)$$

$$a_{i,m,q} = \begin{cases} 1, & \text{se } F_{m,q} \geq 0 \\ 0, & \text{se } F_{m,q} = 0 \end{cases} \quad \forall m \in \mathcal{M}, q \in \mathcal{Q} \quad (4)$$

$$\sum_{i \in \mathcal{I}} y_{i,m,j} \leq 1 \quad \forall m \in \mathcal{M}, j \in \mathcal{J}_m \quad (5)$$

Tabela 1. Notações utilizadas no problema.

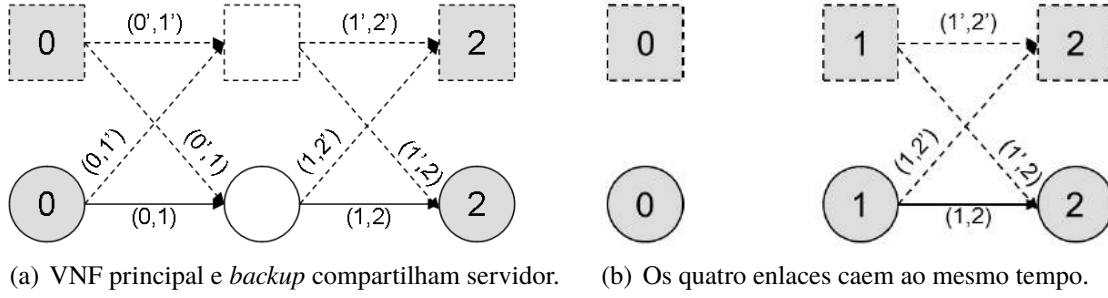
Notação	Descrição	Tipo
\mathcal{I}	Servidores disponíveis	Conjunto
\mathcal{M}	Tipos de VNF disponíveis	Conjunto
\mathcal{I}_m	Instâncias disponíveis para a VNF m	Conjunto
\mathcal{R}_m	Instâncias de <i>backup</i> disponíveis para a VNF m	Conjunto
\mathcal{Q}	Requisições de serviço na forma de SFCs	Conjunto
\mathcal{U}	Enlaces virtuais ligando apenas VNFs operacionais	Conjunto
\mathcal{U}'	Enlaces virtuais ligando uma VNF operacional e uma de <i>backup</i> , (u, v') e (u', v) , ou duas VNFs de <i>backup</i> , (u', v')	Conjunto
\mathcal{E}_{max_i}	Consumo de energia máximo do servidor i	Parâmetro
\mathcal{E}_{min_i}	Consumo de energia mínimo do servidor i	Parâmetro
\mathcal{S}_i	Capacidade dos recursos computacionais do servidor i	Parâmetro
$\mathcal{V}_{m,j}$	Recursos computacionais utilizados pela instância j da VNF do tipo m	Parâmetro
$\mathcal{K}_{m,r}$	Recursos computacionais utilizados pelo <i>backup</i> r da VNF do tipo m	Parâmetro
$\mathcal{F}_{m,q}$	Recursos computacionais da VNF do tipo m requeridos pela SFC q	Parâmetro
$\mathcal{B}_{i,n}$	Largura de banda do enlace físico (i, n)	Parâmetro
$\mathcal{W}_{q,u,v}$	Largura de banda solicitada pela SFC q no enlace virtual (u, v)	Parâmetro
\mathcal{T}_q	Atraso total permitido pela SFC q	Parâmetro
$\mathcal{D}_{i,n}$	Atraso de propagação associado ao enlace físico (i, n)	Parâmetro
\mathcal{P}_m	Atraso de processamento associado à VNF do tipo m	Parâmetro
m_q^o, m_q^f	Primeira VNF (o) de uma SFC q e última VNF (f) de uma SFC q	Parâmetro
m_q^u, m_q^v	VNF que está no nó u ou no nó v de um enlace virtual (u, v) qualquer da SFC q	Parâmetro
$y_{i,m,j}$	Variável binária indicando se a instância j da VNF do tipo m está alocada no servidor i	Variável
$z_{i,m,r}$	Variável binária indicando se o <i>backup</i> r da VNF do tipo m está alocada no servidor i	Variável
$a_{i,m,q}$	Variável binária indicando se a SFC q solicita uma VNF do tipo m no servidor i	Variável
$c_{i,m,q}$	Variável binária indicando se a SFC q solicita um <i>backup</i> da VNF do tipo m no servidor i	Variável
$b_{i,n,q,u,v}$	Variável binária indicando se a SFC q solicita um enlace operacional (u, v) no enlace físico (i, n)	Variável
$d_{i,n,q,u,v}$	Variável binária indicando se a SFC q solicita um enlace de <i>backup</i> (u, v) no enlace físico (i, n)	Variável
$x_{i,n,q,u,v}$	Variável binária indicando se algum dos enlaces de <i>backup</i> (u, v') , (u', v) ou (u', v') da SFC q está no enlace físico (i, n)	Variável
$g_{i,q,u,v}$	Variável binária indicando se o enlace virtual qualquer (u, v) da SFC q está no SRG afetado por uma possível falha no servidor i	Variável

Restrições de alocação de VNFs. A Inequação 2 assegura que o consumo de recursos computacionais de todas as VNFs, operacionais e de *backup*, em um servidor não ultrapasse a capacidade do mesmo. De forma similar, a Inequação 3 garante que o total de recursos demandados por todas as SFCs que utilizem uma VNF não ultrapasse a capacidade dela. A Equação 4 afirma que, se uma SFC solicita recursos de uma VNF específica, então deve haver algum servidor para alocar essa VNF, não podendo haver uma requisição de serviço não atendida. A Inequação 5 afirma que uma instância de uma determinada VNF não pode ser atribuída a mais de um servidor simultaneamente.

$$\sum_{q \in \mathcal{Q}} \sum_{(u,v) \in \mathcal{U}} \mathcal{W}_{q,u,v} \cdot (b_{i,n,q,u,v} + x_{i,n,q,u,v}) \leq \mathcal{B}_{i,n} \quad \forall i, n \in \mathcal{I} \quad (6)$$

$$\sum_{i \in \mathcal{I}} \left(\sum_{n \in \mathcal{I}} \sum_{(u,v) \in \mathcal{U}} \mathcal{D}_{i,n} \cdot b_{i,n,q,u,v} + \sum_{m \in \mathcal{M}} \mathcal{P}_m \cdot a_{i,m,q} \right) \leq \mathcal{T}_q \quad \forall q \in \mathcal{Q} \quad (7)$$

Restrições de alocação de enlaces. A Inequação 6 assegura que a largura de banda total utilizada pelos enlaces virtuais em um determinado enlace físico não ultrapasse a banda disponível no mesmo. Vale notar que, como é possível que dois ou três enlaces de *backup* de um mesmo enlace virtual operacional atravessem um *link* físico em comum, a reserva de banda ocorreria para cada um dos dois ou três enlaces de *backup*. Isso não é necessário, já que, em caso de falha, basta que seja reservada a capacidade de apenas um desses enlaces


Figura 4. Dois tipos de quebra na SFC.

de *backup*, ao invés de alocar desnecessariamente o dobro ou o triplo desse valor. A Inequação 7 garante que o atraso total em uma SFC não exceda o atraso máximo aceitável daquela SFC. Esse atraso é dado pela soma do atraso de processamento de cada VNF requerida e o atraso de propagação em cada um dos enlaces físicos que a SFC atravessa.

$$\sum_{q \in \mathcal{Q}} \mathcal{F}_{m,q} \cdot c_{i,m,q} \leq \sum_{r \in \mathcal{R}_m} \mathcal{K}_{m,r} \cdot z_{i,m,r} \quad \forall i \in \mathcal{I}, m \in \mathcal{M} \quad (8)$$

$$\sum_{i \in \mathcal{I}} c_{i,m,q} = \begin{cases} 1, & \text{se } F_{m,q} \geq 0 \\ 0, & \text{se } F_{m,q} = 0 \end{cases} \quad \forall m \in \mathcal{M}, q \in \mathcal{Q} \quad (9)$$

$$a_{i,m,q} + c_{i,m,q} \leq 1 \quad \forall i \in \mathcal{I}, m \in \mathcal{M}, q \in \mathcal{Q} \quad (10)$$

$$\sum_{i \in \mathcal{I}} z_{i,m,r} \leq 1 \quad \forall m \in \mathcal{M}, r \in \mathcal{R}_m \quad (11)$$

$$0 \leq 3 \cdot x_{i,n,q,u,v} - d_{i,n,q,u,v'} - d_{i,n,q,u',v} - d_{i,n,q,u',v'} \leq 2 \quad \forall i, n \in \mathcal{I}, q \in \mathcal{Q}, (u, v) \in \mathcal{U}' \quad (12)$$

Restrições de alocação de VNFs de *backup*. A Inequação 8 e a Equação 9 têm o mesmo propósito que a Inequação 3 e a Equação 4, respectivamente, porém se destinam às VNFs de *backup*. A Inequação 10 impede que uma VNF operacional e o *backup* associado a ela estejam no mesmo servidor, o que poderia levar ao problema mostrado na Figura 4(a), no qual a falha de um servidor quebra a SFC e sua réplica. A Inequação 11 tem a mesma função da Inequação 5, porém voltada para as VNFs de *backup*. A Inequação 12 representa a função lógica OU entre as três variáveis de enlace de *backup*, que é utilizada na Inequação 6 para alocar a requisição de banda de apenas um dos três enlaces de *backup* quando eles estão no mesmo enlace físico.

$$\sum_{n \in \mathcal{N}} (b_{i,n,q,u,v} - b_{n,i,q,u,v}) = a_{i,m_q^o,q} - a_{i,m_q^f,q} \quad \forall i \in \mathcal{I}, q \in \mathcal{Q}, (u, v) \in \mathcal{U} \quad (13)$$

$$0 \leq a_{i,m_q^o,q} + a_{i,m_q^f,q} - 2 \cdot b_{i,i,q,u,v} \leq 1 \quad \forall i \in \mathcal{I}, q \in \mathcal{Q}, (u, v) \in \mathcal{U} \quad (14)$$

$$b_{i,n,q,u,v} + b_{n,i,q,u,v} \leq 1 \quad \forall i, n \in \mathcal{I}, q \in \mathcal{Q}, (u, v) \in \mathcal{U} \quad (15)$$

$$d_{i,n,q,u,v} + d_{n,i,q,u,v} \leq 1 \quad \forall i, n \in \mathcal{I}, q \in \mathcal{Q}, (u, v) \in \mathcal{U}' \quad (16)$$

$$\sum_{n \in \mathcal{I}} b_{i,n,q,u,v} \leq 1 \quad \forall i \in \mathcal{I}, q \in \mathcal{Q}, (u,v) \in \mathcal{U} \quad (17)$$

$$\sum_{i \in \mathcal{I}} b_{i,n,q,u,v} \leq 1 \quad \forall n \in \mathcal{I}, q \in \mathcal{Q}, (u,v) \in \mathcal{U} \quad (18)$$

$$\sum_{n \in \mathcal{I}} d_{i,n,q,u,v} \leq 1 \quad \forall i \in \mathcal{I}, q \in \mathcal{Q}, (u,v) \in \mathcal{U}' \quad (19)$$

$$\sum_{i \in \mathcal{I}} d_{i,n,q,u,v} \leq 1 \quad \forall n \in \mathcal{I}, q \in \mathcal{Q}, (u,v) \in \mathcal{U}' \quad (20)$$

Restrições de formação de enlaces. A Equação 13 especifica que o somatório de todos os fluxos que entram e saem de um servidor é igual ao somatório de todos os fluxos que surgem nele e se destinam a ele. A Inequação 14 afirma que um enlace virtual interno deve ser formado se duas VNFs operacionais de uma SFC estiverem no mesmo servidor. Esse enlace, por ser estabelecido internamente no servidor, possui banda infinita e atraso zero. As Inequações 15 e 16 asseguram que um enlace virtual, operacional ou de *backup*, só pode estar alocado em um sentido do enlace físico. Já as Inequações 17 e 18 afirmam que um enlace virtual operacional só pode sair ou chegar, respectivamente, a um servidor por um único enlace físico. As Inequações 19 e 20 fazem o mesmo para os de *backup*.

$$\sum_{n \in \mathcal{N}} (d_{i,n,q,u,v'} - d_{n,i,q,u,v'}) = a_{i,m_q^o,q} - c_{i,m_q^f,q} \quad \forall i \in \mathcal{I}, q \in \mathcal{Q}, (u,v') \in \mathcal{U}' \quad (21)$$

$$\sum_{n \in \mathcal{N}} (d_{i,n,q,u',v} - d_{n,i,q,u',v}) = c_{i,m_q^o,q} - a_{i,m_q^f,q} \quad \forall i \in \mathcal{I}, q \in \mathcal{Q}, (u',v) \in \mathcal{U}' \quad (22)$$

$$\sum_{n \in \mathcal{N}} (d_{i,n,q,u',v'} - d_{n,i,q,u',v'}) = c_{i,m_q^o,q} - c_{i,m_q^f,q} \quad \forall i \in \mathcal{I}, q \in \mathcal{Q}, (u',v') \in \mathcal{U}' \quad (23)$$

$$0 \leq a_{i,m_q^u,q} + c_{i,m_q^v,q} - 2 \cdot d_{i,i,q,u,v'} \leq 1 \quad \forall i \in \mathcal{I}, q \in \mathcal{Q}, (u,v') \in \mathcal{U}' \quad (24)$$

$$0 \leq c_{i,m_q^u,q} + a_{i,m_q^v,q} - 2 \cdot d_{i,i,q,u',v} \leq 1 \quad \forall i \in \mathcal{I}, q \in \mathcal{Q}, (u',v) \in \mathcal{U}' \quad (25)$$

$$0 \leq c_{i,m_q^u,q} + c_{i,m_q^v,q} - 2 \cdot d_{i,i,q,u',v'} \leq 1 \quad \forall i \in \mathcal{I}, q \in \mathcal{Q}, (u',v') \in \mathcal{U}' \quad (26)$$

As Equações 21, 22 e 23 têm a mesma função que a Equação 13, estando relacionadas aos enlaces de *backup* que partem de uma VNF operacional para um *backup*, que partem de um *backup* para uma VNF operacional e que ligam duas VNFs de *backup*, respectivamente. Da mesma forma, as Inequações 24, 25 e 26 formam um paralelo com a Inequação 14, criando enlaces virtuais internos de *backup* quando estão em sequência, no mesmo servidor, uma VNF operacional e o *backup* da próxima, um *backup* e a VNF operacional seguinte e duas VNFs de *backup*, respectivamente.

$$0 \leq (1 + (2 \cdot (n - 1))) \cdot g_{i,q,u,v} - \sum_{n \in \mathcal{N}} (b_{i,n,q,u,v} + b_{n,i,q,u,v}) + b_{i,i,q,u,v} \leq 2 \cdot (n - 1) \quad \forall i \in \mathcal{I}, q \in \mathcal{Q}, (u,v) \in \mathcal{U} \quad (27)$$

$$0 \leq (1 + (2 \cdot (n - 1))) \cdot g_{i,q,u,v} - \sum_{n \in \mathcal{N}} (d_{i,n,q,u,v} + d_{n,i,q,u,v}) + d_{i,i,q,u,v} \leq 2 \cdot (n - 1) \quad \forall i \in \mathcal{I}, q \in \mathcal{Q}, (u,v) \in \mathcal{U}' \quad (28)$$

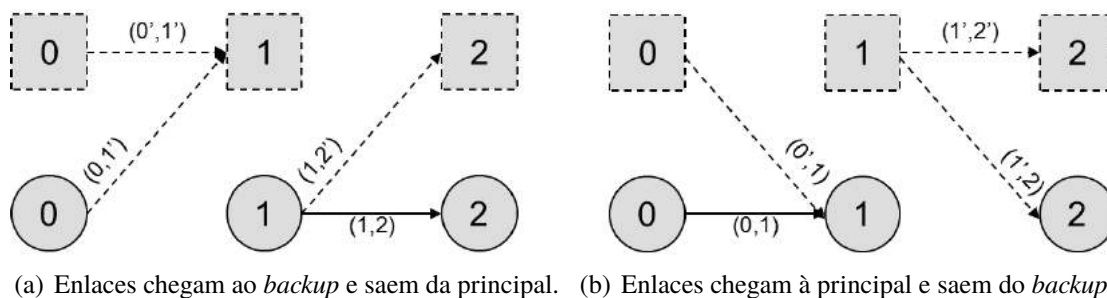


Figura 5. Quebra na SFC por uma descontinuidade espelhada.

$$g_{i,q,u,v} + g_{i,q,u,v'} + g_{i,q,u',v} + g_{i,q,u',v'} \leq 3 \quad \forall i \in \mathcal{I}, q \in \mathcal{Q}, (u, v) \in \mathcal{U} \cup \mathcal{U}' \quad (29)$$

$$g_{i,q,u,v} + g_{i,q,u',v} + g_{i,q,v',z} + g_{i,q,v',z'} \leq 3 \quad \forall i \in \mathcal{I}, q \in \mathcal{Q}, (u, v), (v, z) \in \mathcal{U} \cup \mathcal{U}' \quad (30)$$

$$g_{i,q,u,v'} + g_{i,q,u',v'} + g_{i,q,v,z} + g_{i,q,v,z'} \leq 3 \quad \forall i \in \mathcal{I}, q \in \mathcal{Q}, (u, v), (v, z) \in \mathcal{U} \cup \mathcal{U}' \quad (31)$$

Restrições de resiliência e SRGs. As Inequações 27 e 28 definem uma função lógica OU que indica se um determinado enlace virtual pertence ao SRG de um servidor, ou seja, se uma possível falha no servidor em questão implica na queda do enlace virtual. Assim, sempre que um enlace virtual chegar, sair ou for um enlace interno em um determinado servidor, ele estará contido no grupo de enlaces afetados pela falha naquele servidor. Vale ressaltar que um enlace virtual pertence a tantos SRGs distintos quantos forem os servidores pelos quais ele passar. Assim como a Inequação 10, as Inequações 29, 30 e 31 também garantem que o serviço não seja interrompido. A Inequação 29 define que os quatro enlaces virtuais relacionados, isto é, o enlace operacional e seus três enlaces de *backup*, não podem estar simultaneamente no mesmo SRG, o que poderia levar ao problema mostrado na Figura 4(b). Nas Inequações 30 e 31, para um dado enlace virtual qualquer (u, v) , (v, z) é o enlace seguinte, tendo a VNF em v como origem, ao invés de destino. Essas inequações evitam uma ruptura espelhada na SFC. Isso ocorre quando os dois enlaces que chegam a uma VNF de *backup* e os dois enlaces que partem de sua VNF operacional correspondente e vice-versa ficam inacessíveis ao mesmo tempo, como mostrado na Figura 5.

Domínio das variáveis. Todas as variáveis utilizadas são binárias, como visto na Tabela 1. Assim, devido à limitação de espaço, as equações de domínio de variáveis foram omitidas.

5. Heurística TRELIS (*Tree REDuction and Line Solution*)

Dada a complexidade do problema MILP formulado, este trabalho propõe uma heurística para aumentar a escalabilidade no posicionamento de SFCs. A ideia fundamental é reduzir o número de variáveis. De acordo com a Tabela 1, o número de servidores da infraestrutura é um índice presente em todas as variáveis e, sendo assim, reduzir a quantidade de servidores que podem hospedar VNFs diminui o número de variáveis e de restrições do problema. Em linhas gerais, a TRELIS recebe a rede original e remove enlaces que fecham ciclos, transformando-a em uma *spanning tree* mínima, contendo os nós da rede original. Então, a TRELIS cria uma rede em linha a partir da árvore para ser usada no problema de posicionamento de SFCs. No exemplo da Figura 6, uma topologia é submetida à TRELIS, que remove os ciclos da rede e forma uma linha com 8 servidores.

O Algoritmo 1 detalha a TRELIS. Da linha 1 até a 4, são definidos os valores iniciais das variáveis. O consumo de energia é iniciado com E_{max} , que representa o maior

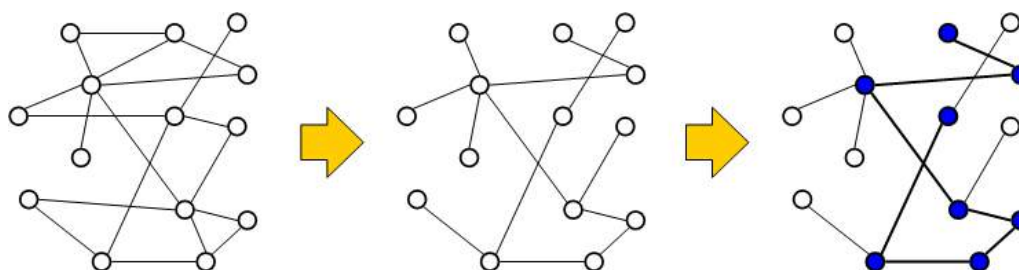


Figura 6. Remoção de ciclos e seleção de nós em uma linha feita pela TRELIS.

gasto possível de energia na rede. Para resolver o problema, a TRELIS calcula inicialmente a quantidade mínima de servidores da rede em linha necessária para a alocação das VNFs operacionais e de *backup*, com base nos recursos disponíveis. Por exemplo, se cada servidor é capaz de hospedar apenas 8 VNFs e as requisições precisam de 64 VNFs, então são necessários, no mínimo, 8 servidores. Esse tamanho mínimo é representado por *minun*. Na linha 5, a *spanning tree* mínima é formada a partir da rede original. Na linha 6, a função `melhoresCaminhosTodosPares` encontra todos os caminhos mais curtos entre cada par de servidores, formando linhas de diferentes tamanhos. Então, seleciona-se um tamanho i , a partir de 2 servidores, e comparam-se todas as linhas com i nós. A melhor rede é aquela com o maior somatório de largura de banda de todos os enlaces. Assim, há uma melhor rede para cada i e são essas as linhas usadas para resolver o problema. O maior valor de i é igual ao tamanho da maior rede em linha possível para a rede inicial.

A TRELIS itera da linha 7 até a 21, selecionando, na função `extrairLinha` (linha 11), uma rede em linha com *minun* servidores. Essa rede é escolhida a partir dos caminhos calculados na linha 6 e o valor *minun* é incrementado a cada iteração. Na função `resolverProblema` (linha 12), a rede em linha escolhida é então fornecida como entrada do problema formulado na Seção 4. Em cada iteração, calcula-se o ganho na economia de energia em relação à iteração anterior. Se o *ganho* for menor que ϵ , a TRELIS termina a execução e escolhe o posicionamento da última iteração, já que, embora o resultado não seja suficientemente melhor a ponto de justificar uma nova iteração, ele ainda é um resultado melhor que o da penúltima iteração. Se o *ganho* for menor que zero, escolhe-se o posicionamento da penúltima iteração, nas linhas 22 a 26, já que esse resultado é melhor que o da última iteração. Isso garante que o resultado final obtido pela TRELIS seja sempre o melhor dentre todos os resultados obtidos nas iterações anteriores, evitando que o último resultado seja escolhido caso ele seja pior que o anterior.

6. Avaliação dos Resultados

Para avaliar a solução ótima e a TRELIS, utiliza-se o IBM CPLEX como ferramenta de otimização. São realizados dois experimentos para SFCs mais curtas e mais longas, com 2 e 4 VNFs, respectivamente. No primeiro experimento, são considerados dois cenários, com servidores de capacidade $S_i = 1000 \forall i \in \mathcal{I}$ e $S_i = 4000 \forall i \in \mathcal{I}$. No segundo experimento, são considerados servidores com $S_i = 4000 \forall i \in \mathcal{I}$ e $S_i = 8000 \forall i \in \mathcal{I}$. Aumenta-se a capacidade para as SFCs longas pois a quantidade de recursos requerida aumenta por haver mais VNFs. Utilizam-se tipos diferentes de VNF para formar as SFCs. Para cada VNF, aloca-se $\mathcal{V}_{m,j} = 125$ unidades de capacidade de um servidor. Cada requisição de VNF nas SFCs consome $\mathcal{F}_{m,q} = 100$ unidades de recurso de uma VNF. Os

Algoritmo 1: Heurística TRELIS

Entrada: Rede original *redeOriginal*, Requisições de SFCs *requisicoes*, Ganho mínimo ϵ .
Saída: Posicionamento das SFCs *melhorPosicionamento*, Consumo de energia *energia*

```

1 minun = arredondar( $\frac{2 \cdot nrVnfsRequisitadas}{nrMedioDeVnfsPorServidor}$ );
2 ganho =  $\epsilon + 1$ ;
3 energia =  $E_{max}$ ;
4 posicionamento = Vazio;
5 arvore = spanningTree(redeOriginal);
6 melhoresLinhasPossiveis = melhoresCaminhosTodosPares(arvore);
7 enquanto ganho >  $\epsilon$  faça
8   | ganhoAnterior = ganho;
9   | energiaAnterior = energia;
10  | posicionamentoAnterior = posicionamento;
11  | rede = extrairLinha(minun, melhoresLinhasPossiveis);
12  | energia, posicionamento = resolverProblema(rede);
13  | se posicionamento  $\neq$  Vazio então
14  |   | ganho = energiaAnterior - energia;
15  |   | senão
16  |   |   | ganho = ganhoAnterior;
17  |   |   | energia = energiaAnterior;
18  |   |   | posicionamento = posicionamentoAnterior;
19  |   | fim
20  |   | minun += 1;
21  | fim
22  | se ganho > 0 então
23  |   | melhorPosicionamento = posicionamento;
24  |   | senão
25  |   | melhorPosicionamento = posicionamentoAnterior;
26  |   | fim

```

valores de energia dos servidores foram retirados de [Bari et al., 2016]. Utiliza-se como rede física as redes RNP, GEANT e RENATER, empregando a mesma topologia, banda e latência de [Couto et al., 2015]. Emprega-se nos experimentos uma máquina com processador Intel Xeon E3-1270 V2 @ 3.50GHz e 32 GB de memória RAM DDR3 1333MHz.

6.1. Tempos de execução da solução ótima

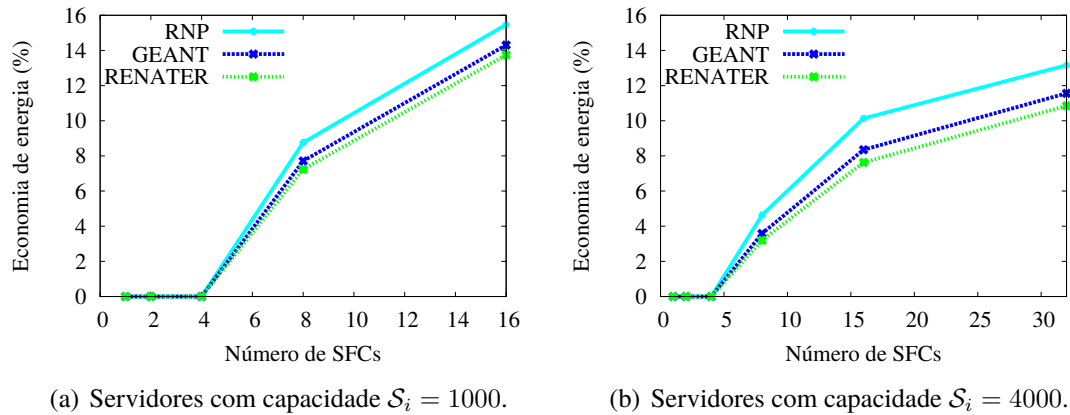
No problema de otimização, a quantidade de nós da topologia tem grande impacto na quantidade de variáveis do problema. As redes da RNP, GEANT e RENATER possuem, respectivamente, 28, 41 e 48 nós. A Tabela 2 mostra o tempo de execução de acordo com o número de SFCs solicitadas. A execução só é possível para até 4 SFCs. A partir de 8 SFCs, o CPLEX não alcança uma solução e consome toda a memória da máquina utilizada. Observa-se que, para apenas 4 SFCs, a solução ótima com a topologia da RENATER chega a quase um minuto de execução, devido às suas 49 mil variáveis e 64 mil restrições, justificando a proposta de uma heurística que reduza o tamanho problema. Por isso, apenas o experimento com SFCs mais curtas foi realizado para a solução ótima.

6.2. Resultados da TRELIS

Os tempos de execução da TRELIS, não apresentados em sua totalidade por questões de espaço, mostram que a heurística obtém soluções em menos tempo. Por exemplo, para 4 SFCs e servidores com capacidade $S_i = 1000$, todas as redes apresentam tempos

Tabela 2. Tempos de execução da solução ótima em segundos ($\mathcal{S}_i = 1000$).

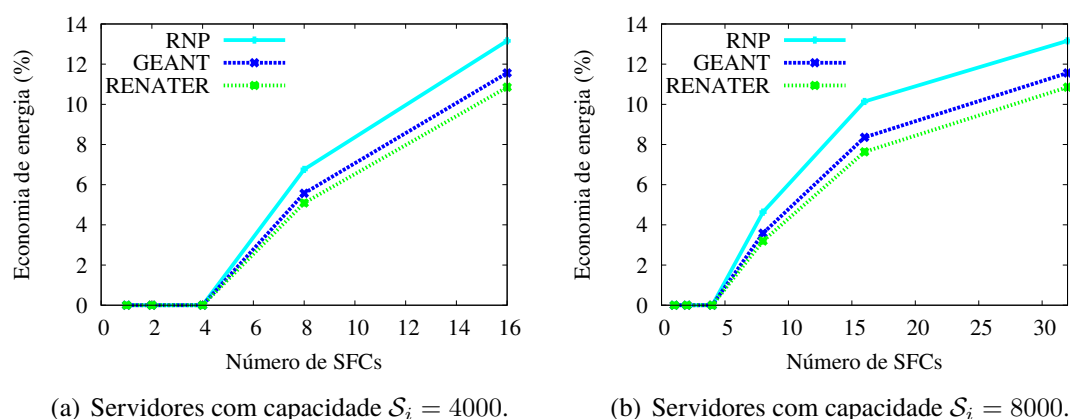
Topologia	Número de SFCs		
	1	2	4
RNP	0.8626	2.3002	7.9395
GEANT	4.6154	8.6275	43.0281
RENATER	5.6197	15.4545	59.6814

**Figura 7. Economia de energia ao compartilhar VNFs por SFCs mais curtas.**

de execução inferiores a 0.1 segundo. Além disso, é possível solucionar o problema para mais SFCs. Com servidores de capacidade 1000, são posicionadas até 16 SFCs em menos de 25 segundos. Para os de capacidade 4000, são posicionadas até 32 SFCs em menos de 3 segundos. Com mais capacidade, são necessários menos servidores na rede em linha, resolvendo o problema em menos tempo.

As Figuras 7(a) e 7(b) mostram a economia de energia com SFCs curtas devido ao compartilhamento de VNFs. A economia de energia é definida como a porcentagem de redução do consumo de energia no caso com compartilhamento em relação ao caso original, isto é sem compartilhamento de VNFs, como mostra a Equação 32. Com até 4 SFCs, não há economia de energia devido aos valores de capacidade das VNFs serem muito próximos à capacidade requerida pelas SFCs, de modo que a alocação até esse ponto é feita como no caso sem compartilhamento, já que os fragmentos de capacidade das VNFs ainda são capazes de atender a uma SFC. Como a rede e os servidores considerados são homogêneos, o resultado da heurística coincide com o da solução ótima sem perda de generalidade. Assim, os resultados ótimos foram omitidos. Além disso, com uma rede homogênea, o valor de ϵ utilizado foi E_{max} para que o Algoritmo 1 retorne assim que achar uma solução. Da mesma forma, como os servidores são homogêneos, a diferença no consumo de energia entre as três topologias se deve à quantidade de servidores disponíveis. Como a RENATER possui mais servidores que as outras duas, são mais servidores em *idle* consumindo energia, o que faz com que ela tenha valores menores de economia. A partir de 4 SFCs, como mostram as Figuras 7(a) e 7(b), há economia de energia com a heurística proposta. Além disso, quanto mais SFCs são requisitadas, mais energia é economizada, já que há mais VNFs sendo compartilhadas.

$$Economia = \frac{Consumo_{original} - Consumo_{compartilhamento}}{Consumo_{original}} \cdot 100\% \quad (32)$$

(a) Servidores com capacidade $S_i = 4000$.(b) Servidores com capacidade $S_i = 8000$.**Figura 8. Economia de energia ao compartilhar VNFs por SFCs mais longas.**

Para SFCs mais longas, cujos resultados são mostrados na Figura 8, o comportamento da economia de energia é semelhante. Isso mostra que o tamanho das SFCs não impacta significativamente na economia.

7. Conclusões e Direções Futuras

Este estudo verificou que é possível desenvolver mecanismos no contexto de NFV que permitem o posicionamento energeticamente eficiente de SFCs, através do compartilhamento de VNFs. Além disso, devido à característica virtual das funções de rede, as instâncias de *backup* posicionadas permanecem desligadas durante a operação normal da rede. Assim, é possível oferecer resiliência sem prejudicar a eficiência energética.

A inovação da abordagem é tratar do posicionamento ótimo de SFCs com resiliência a uma falha de servidor. Os resultados mostraram que é possível reduzir em até 15% o consumo de energia nos servidores ao compartilhar VNFs, além de suportar até uma falha silenciosa de servidores, evitando a interrupção do serviço fornecido pelas SFCs através de VNFs de *backup*. A escalabilidade limitada da solução ótima levou ao desenvolvimento da heurística TRELIS, que consiste em reduzir o número de servidores do problema. Como o número de servidores impacta na quantidade de todas as variáveis consideradas, reduzi-lo se mostrou eficiente para alocar mais SFCs e reduzir os tempos de execução foi capaz de alocar quatro vezes mais SFCs em um quarto do tempo. Assim, foi possível alocar até 32 SFCs. Esses números de SFCs posicionadas são razoáveis, pois representam o posicionamento de um lote de SFCs para uma execução da TRELIS.

Como direções futuras, destacam-se a extensão do problema para mais de uma falha de servidor e para falhas específicas de enlace, além de testar configurações heterogêneas de servidores. Além disso, o problema formulado considera requisições de SFCs em lote, alocadas em uma única execução. Na prática, requisições individuais podem ser realizadas sob demanda. O problema de otimização e a heurística podem ser adaptados para alocar as requisições individuais ou em grupos de SFCs, atualizando os parâmetros do problema à medida que seus recursos são consumidos pelas SFCs.

Referências

Bari, M. F., Chowdhury, S. R., Ahmed, R., Boutaba, R. e Duarte, O. C. M. B. (2016). Orchestrating virtualized network functions. *Aceito para publicação em IEEE Tran-*

sactions on Network and Service Management.

- Clayman, S., Maini, E., Galis, A., Manzalini, A. e Mazzocca, N. (2014). The dynamic placement of virtual network functions. Em *2014 IEEE Network Operations and Management Symposium (NOMS)*, p. 1–9. IEEE.
- Couto, R. S., Secci, S., Campista, M. E. M. e Costa, L. H. M. K. (2014). Network design requirements for disaster resilience in IaaS clouds. *IEEE Communications Magazine*, 52(10):52–58.
- Couto, R. S., Secci, S., Campista, M. E. M. e Costa, L. H. M. K. (2015). Otimização do posicionamento de servidores físicos em centros de dados resilientes a desastres. Em *XXXIII Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos (SBRC)*, p. 417–430.
- Han, B., Gopalakrishnan, V., Ji, L. e Lee, S. (2015). Network function virtualization: Challenges and opportunities for innovations. *IEEE Communications Magazine*, 53(2):90–97.
- Herrera, J. G. e Botero, J.-F. (2016). Resource allocation in NFV: A comprehensive survey. *IEEE Transactions on Network and Service Management*, 13(3):518–532.
- John, W., Pentikousis, K., Agapiou, G., Jacob, E., Kind, M., Manzalini, A., Risso, F., Staessens, D., Steinert, R. e Meirosu, C. (2013). Research directions in network service chaining. Em *IEEE SDN for Future Networks and Services (SDN4FNS)*, p. 1–7. IEEE.
- Luizelli, M. C., Bays, L. R., Buriol, L. S., Barcellos, M. P. e Gaspar, L. P. (2015). Piecing together the nfv provisioning puzzle: Efficient placement and chaining of virtual network functions. Em *2015 IFIP/IEEE International Symposium on Integrated Network Management (IM)*, p. 98–106. IEEE.
- Ma, W., Medina, C. e Pan, D. (2015). Traffic-aware placement of NFV middleboxes. Em *IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM)*, p. 1–6.
- Mehraghdam, S., Keller, M. e Karl, H. (2014). Specifying and placing chains of virtual network functions. Em *IEEE 3rd International Conference Cloud Networking (Cloud-Net)*, p. 7–13.
- Mijumbi, R., Serrat, J., Gorricho, J.-L., Bouten, N., De Turck, F. e Boutaba, R. (2015). Network function virtualization: State-of-the-art and research challenges. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 18(1):236–262.
- Moens, H. e De Turck, F. (2014). Vnf-p: A model for efficient placement of virtualized network functions. Em *10th International Conference on Network and Service Management (CNSM) and Workshop*, p. 418–423.
- Rahman, M. R. e Boutaba, R. (2013). SVNE: Survivable virtual network embedding algorithms for network virtualization. *IEEE Transactions on Network and Service Management*, 10(2):105–118.
- Sahhaf, S., Tavernier, W., Rost, M., Schmid, S., Colle, D., Pickavet, M. e Demeester, P. (2015). Network service chaining with optimized network function embedding supporting service decompositions. *Computer Networks*, 93:492–505.
- Tanenbaum, A. S. e Van Steen, M. (2007). *Distributed systems*. Prentice-Hall.

Proteção por Pré-provisionamento em Redes Ópticas Elásticas

Paulo J. S. Júnior¹, André C. Drummond²

¹ Instituto Federal de Brasília - Planaltina-DF

² Departamento de Ciência da Computação Universidade de Brasília

{paulo.jose@etfbsb.edu.br, andred@unb.br}

Abstract. *With the emergence of EON networks, protection techniques used for WDM networks are reevaluated and research of new techniques gains importance. This work aims to explore the main protection techniques and to compare offline, pre-provisioning, and online, provisioning, adapting the strategies taken from the literature to EON networks. This study explores the realistic view of predicting traffic and adapting routing techniques to this premise. This work presents a heuristic for routing and spectrum allocation for pre-provisioning of DLP, Dedicated Link Protection, and DPP, Dedicated Path Protection. Results show that the use of pre-provisioning techniques in EON obtains good results, compared to the classic provisioning solutions.*

Resumo. *Com o surgimento das redes EON, as técnicas de proteção exploradas para as redes WDM são reavaliadas e a investigação por novas técnicas toma nova importância. Este trabalho objetiva explorar as principais técnicas de proteção e comparar a forma offline, pré-provisionamento, e online, provisionamento, adaptando as estratégias tomadas pela literatura para as redes EON. Este estudo explora a visão realista de se prever o tráfego e adaptar as técnicas de roteamento a essa premissa. São apresentadas heurísticas para roteamento e alocação de espectro para pré-provisionamento de proteção DLP, Proteção Dedicada por Enlace, e DPP, Proteção Dedicada por Caminho. Resultados mostram que o uso de técnicas de pré-provisionamento em EON obtém bons resultados, comparados às soluções clássicas de provisionamento.*

1. Introdução

Existe um volume bem menor de estudos em proteção para redes EON que para as redes WDM. Muitas aplicações de proteção em redes WDM ainda estão sendo avaliadas, e seus resultados podem apresentar algumas diferenças com relação às redes EON, devido ao maior número de variáveis e flexibilidade da tecnologia. Existem muitas soluções de provisão de proteção, mas poucos estudos sobre pré-provisionamento. Além disso, nos estudos para redes WDM, ainda faltam avaliações que comparam as principais modalidades de proteção no âmbito do pré-provisionamento. Este trabalho propõe destacar a vantagem do pré-provisionamento de proteção e comparar dois tipos de modalidades de proteção que são priorizadas na fase de tráfego leve e maior excesso de capacidade, para redes EON.

Hoje em dia, a tecnologia WDM, Multiplexação por Divisão de Comprimento de Onda, tem sido predominante nas redes ópticas. Com o constante aumento das demandas e de aplicações heterogêneas, com diversas granularidades, as redes WDM têm trazido

limitações na eficiência do uso do espectro, ou seja, as aplicações de alta capacidade e as de baixa capacidade não estão aproveitando os recursos das redes WDM de forma eficiente. As redes EON, *Elastic Optical Network*, vêm surgindo como uma nova solução para prover maior eficiência às redes ópticas. Esta nova tecnologia se destaca pela flexibilidade dos caminhos óticos proverem capacidades diferentes entre si. Muitas técnicas utilizadas nas redes WDM estão sendo adaptadas e recriadas para as redes EON. Nas redes EON, as soluções tendem a ser mais complexas que nas redes WDM devido à sua maior flexibilidade e mais opções de recursos.

As redes EON também apresentam problemas de roteamento, alocação de banda e agregação de tráfego parecidos com as redes WDM, porém a alocação deixa de ser somente de comprimento de onda para ser alocação de espectro e/ou nível de modulação, ou seja, de RSA, Roteamento e alocação de Espectro, e/ou RMLSA, Roteamento, Nível de Modulação e Alocação de Espectro. Neste caso, como a escolha do recurso é mais flexível, os algoritmos de RMLSA tentam encontrar uma rota e um número de *slots* suficiente para atender a demanda com largura de banda e nível de modulação apropriado dependendo da capacidade e distância a transmitir. O problema RMSLA é um problema NP-difícil [Wang et al. 2011] mais desafiador que o problema de RWA, Roteamento e Alocação de Comprimento de Onda, das redes WDM. Nas redes EON, o problema de restrição de continuidade continua a existir, porém acrescido do problema de contiguidade dos *slots*. Com isso, o problema da fragmentação ressurge devido à alocação esparsa de *slots*.

Com a rede EON, o desperdício de banda é consideravelmente menor que o da rede WDM, pois as redes EON permitem atender demandas com caminhos óticos do tamanho mínimo de até um *slot*, possibilitando prover recursos de acordo com o tamanho da demanda e mantendo um mínimo de desperdício.

Tendo em mente a mudança de tecnologia das redes ópticas e o aumento das demandas na Internet, a importância das técnicas de sobrevivência torna-se ainda maior. As principais técnicas de sobrevivência das redes EON continuam as mesmas que nas redes WDM. Solucionar uma falha depende de uma sequência de operações que tomam tempo e têm uma grande influência sobre a inatividade da rede. Até se chegar ao restabelecimento de uma conexão que falhou, a rede precisa identificar, localizar, isolar, disponibilizar o *backup* ou caminho secundário, e decidir se voltará a usar o caminho primário antigo ou criar um novo caminho primário [Mas et al. 2005]. Para este processo ser eficiente, a escolha do tipo de proteção tem muita importância.

Para as redes EON, as técnicas de proteção e restauração continuam prevalecendo e têm suas variações conforme [Shen et al. 2016]. A robustez das redes ópticas é provida através das técnicas de proteção. A proteção é uma solução proativa, antes da falha, onde o caminho secundário é pré-configurado durante a configuração da conexão. A restauração é uma solução reativa, depois da falha, que tenta descobrir o caminho secundário dinamicamente. A proteção tenta uma garantia antes da falha e a restauração não tem garantia por ser no momento da falha. As duas técnicas também dependem da disponibilidade dos recursos no momento de sua implementação, sendo que a proteção reserva recursos antecipadamente e após sua completa implementação a proteção é garantida, enquanto a restauração tenta reservar no momento da falha e sua implementação não é garantida.

A técnica de proteção é a principal solução para prover alta disponibilidade, prin-

principal parâmetro para medição da qualidade de serviços em SLA, acordo de níveis de serviços [Bhagavath and Sobol 1992]. A disponibilidade é a probabilidade de um caminho óptico estar disponível em qualquer tempo. A disponibilidade pode ser calculada como

$$A = \frac{T - T_{off}}{T} \quad (1)$$

$$T_{off} = T_{Detectar} + T_{Recuperar} \quad (2)$$

onde T é o tempo total de provisionamento e T_{off} é o tempo total para o restabelecimento da conexão que falhou. De acordo com esta equação, o T depende da capacidade computacional da rede e é difícil de saber o valor antecipadamente, mas o T_{off} pode ser diminuído de acordo com a técnica de proteção adotada [Chen et al. 2014]. As técnicas de proteção têm suas performances avaliadas através das métricas ST , tempo de configuração dos caminhos primários e secundários, PTS , tempo de comutação das proteções, PST , e A , disponibilidade, [Dikbiyik et al. 2012].

Estabelecer proteção pode ser definido como conseguir um caminho secundário para uma conexão origem-destino requisitada. A seleção de um caminho secundário pode ser implementada através de técnicas de provisionamento, reprovisionamento e pre-provisionamento, [Dikbiyik et al. 2010]. O provisionamento e o reprovisionamento são tentativas *online* de proteger, e o pré-provisionamento é uma tentativa *offline* de proteger futuras demandas. Todas estas três técnicas priorizam melhorar a disponibilidade da rede, ou seja, reduzir o tempo de configuração e o tempo de recuperação. Estas três técnicas dependem da eficiência dos algoritmos de roteamento e alocação de espectro, e são normalmente utilizadas quando da mudança do estado da rede. O estado da rede muda normalmente quando da chegada de novas conexões, término de alguma conexão, falha, reparação e *upgrade* da rede. Para uma também utilização mais eficiente destas três técnicas, os autores da literatura optaram em fazer o provisionamento sempre quando da chegada de uma nova conexão, o pré-provisionamento ao término de uma conexão, e o reprovisionamento utilizando parâmetros mais complexos que definem quando, como e o que reprovisionar. Todos estes métodos dependem do excesso de capacidade disponível e da taxa de disponibilidade a ser alcançada.

A proteção pode ser dedicada ou compartilhada, total ou parcial, e por caminho, por enlace ou por segmento. A figura 1 apresenta as principais técnicas de proteção.

As proteções dedicadas por enlace e caminho, DLP e DPP, consomem mais recursos que as proteções compartilhadas por enlace e caminho, SLP e SPP, mas são menos complexas de implementar por terem menos restrições. Uma restrição comum para estas duas formas de proteção é que os caminhos primários e *backup* sejam disjuntos entre si. A proteção compartilhada apresenta restrição de maior complexidade, onde o caminho *backup* deve pertencer a caminhos primários disjuntos entre si, ou seja, que não façam parte do mesmo grupo de risco. Com isso, o *backup* pode atender a qualquer falha única ou não simultânea em um dos caminhos primários. A proteção por enlace consome mais recursos que a por caminho, mas tem um tempo de recuperação melhor que a proteção por caminho. A proteção por enlace é mais gulosa e tem uma maior dificuldade de solução que a proteção por caminho. A tabela 1 apresenta um quadro comparativo.

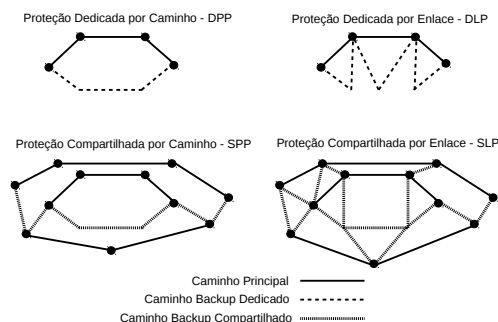


Figura 1. Principais Técnicas de Proteção

Tabela 1.

Consumo de Recurso
$DLP > DPP > SLP > SPP$
Complexidade
$SLP > SPP > DLP > DPP$
Tempo de Recuperação
$DLP < SLP < DPP < SPP$

Este artigo tem como objetivo principal adaptar a técnica de proteção para falha única de fibra óptica com pré-provisionamento [Dikbiyik et al. 2014] das redes WDM para redes EON, destacar a eficiência das redes EON, e justificar a vantagem do pré-provisionamento com relação ao provisionamento no caso das proteções. [Dikbiyik et al. 2014] destaca o pré-provisionamento apenas para melhorar o ST para um contexto onde o tráfego é menos intenso e sob a visão do excesso de capacidade. Nosso estudo observa que o pré-provisionamento pode ser explorado não apenas para melhorar o ST , como também para melhorar a disponibilidade e a performance da rede. Um novo algoritmo de pré-provisionamento para redes EON foi desenvolvido.

O artigo está organizado da seguinte forma: na Seção 2 são apresentados trabalhos relacionados; a Seção 3 introduz os algoritmos; na Seção 4 são derivados resultados através de simulações para avaliar a eficiência das soluções apresentadas; e finalmente, na Seção 5 são desenhadas as conclusões.

2. Trabalhos Relacionados

Com o aumento das demandas em 100% a cada dois anos [Saleh and Simmons 2011], alguns estudos vêm destacando a necessidade de mudança ou evolução da tecnologia de transmissão. Em pouco tempo as redes WDM não suportarão as taxas de 400 GB/s e 1 Tb/s previstas [Gerstel et al. 2012]. As redes EON exploram novas tecnologias de transmissão como a OFDM, Multiplexação por Divisão de Frequência Ortogonal, [Zhang et al. 2013]. A OFDM possibilita transmissões com diferentes modulações e apresenta soluções mais adaptáveis a diferentes demandas. Os equipamentos de transmissão poderão utilizar largura de bandas de acordo com a capacidade necessária das aplicações através da técnica OFDM [Jinno et al. 2010]. Outra mudança importante é a diminuição do $slot$ de frequência de 50 GHz para 12,5 GHz, o que facilita o estabelecimento de mais canais de transmissão e de diferentes capacidades. O objetivo desta nova tecnologia é

possibilitar a utilização de diferentes canais de transmissão com quantidades diferentes de *slots* para diversas granularidades. [Zhang et al. 2013] apresentam um *survey* sobre redes EON.

Apesar do melhor aproveitamento da capacidade da fibra, as redes EON trouxeram o problema de fragmentação. As redes WDM trouxeram a solução para fragmentação que ocorria nas tecnologias anteriores devido à técnica TDM, Multiplexação por Divisão de Tempo [Acharya et al. 2004]. No estudo [Rosa et al. 2012] é quantificada a fragmentação nas redes EON. Diferentes políticas de alocação são comparadas e é proposta uma nova política de alocação de espectro com base na comparação de diferentes estratégias de fragmentação. Os autores apresentam funções de avaliação da fragmentação baseada nos estudos de [Wilson et al. 1995].

[Cerutti et al. 2004, Yen and Lee 2007] destacam a solução de agregação de tráfego para redes WDM, e em [Liu et al. 2012] é investigado o problema de agregação de tráfego para redes EON. Este estudo aplica uma técnica eletrônica de ter uma parte de sua capacidade reservada para *backup*, *Shared Spectrum Overlap*. Esta técnica permite que o canal adjacente de outro caminho óptico possa ser expandido, invadindo o limite do outro slot sem sobrepor ao espectro. Estes novos *transponders* são equipamentos adaptados às redes EON que permitem a expansão e contração dos caminhos ópticos.

Estudos anteriores sobre proteção em redes EON são explorados. Em [Sone et al. 2011], uma espécie de proteção *squeeze* é proposta com consumo de menos banda para proteção dedicada por caminho. Uma sobrevivência por multicaminho é demonstrada em [Ruan and Xiao 2013]. A proteção compartilhada é investigada em [Shao et al. 2012] com heurística de *K-shortest Path* e alocação *First-fit*. A proteção dedicada é explorada em [Walkowiak et al. 2014]. Em [Castro et al. 2012] DPP, Proteção Dedicada por Caminho, e SPP, Proteção Compartilhada por Caminho, são comparadas.

O artigo [Dikbiyik et al. 2010] apresenta técnicas de gerenciamento de excesso de capacidade. O excesso de capacidade, *EC*, é a capacidade não utilizada em uma rede. Neste estudo, são propostas técnicas de gestão de *EC* para melhorar o desempenho da rede e são apresentadas as principais modalidades de proteção. As proteções são comparadas com relação às variáveis de *ST*, tempo de configuração, *PST*, tempo de comutação de tipo de proteção e, *A*, disponibilidade. [Dikbiyik et al. 2012] destaca as fórmulas para calcular a disponibilidade das proteções DLP, DPP, SLP e SPP. Todas estas fórmulas têm as indisponibilidades dos caminhos e enlaces principais dependentes da disponibilidade dos caminhos e enlaces de *backup*, destacando mais ainda as soluções de proteção. O estudo também apresenta solução para melhorar o *ST* através do pré-provisionamento dos caminhos primário e de *backup* por *DLP*, e outra solução de reprovisionamento que migra dinamicamente as conexões de proteção de *backup*. O estudo procura priorizar soluções de alta disponibilidade para quando houver maior excesso de capacidade na rede, e as de menor disponibilidade quando o grau de congestão é alto. Assim, vários esquemas de proteção podem coexistir na rede. A Tabela 2 mostra a performance das modalidades de proteção com relação às variáveis estudadas em [Dikbiyik et al. 2010].

Em [Christodoulopoulos et al. 2011], é provado que o problema de RMLSA é NP-completo e em [Dikbiyik et al. 2010] são apresentadas tabelas que mostram que os resultados de soluções com *PLI*, Programação Linear Inteira, além de não ser escalável para grande massa de dados, tem resultados muito próximos das heurísticas e com tempo

Tabela 2.

$ST_{DLP} > ST_{DPP} > ST_{SLP} = ST_{SPP}$
$PST_{DLP} < PST_{SLP} < PST_{DPP} < PST_{SPP}$
$A_{DLP} > A_{DPP} > A_{SLP} > A_{SPP}$

de implementação cinco vezes maior, sendo praticamente inviável para soluções *online*.

3. Heurística de Pré-provisionamento

3.1. Pré-provisionamento

O pré-provisionamento é um método que busca reservar recursos para conexões futuras. A estratégia da reserva deve se basear em um conhecimento prévio do tráfego baseado na técnica de [Dikbiyik et al. 2014] que utiliza uma matriz tráfego da rede USANet. Esta matriz tem dados estatísticos dos volumes de dados transportados entre todos os nós da rede. A literatura utiliza a técnica de ordenar o tráfego por pares de nós, atendendo os de maior tráfego prioritariamente. [Dikbiyik et al. 2014] faz apenas o pré-provisionamento DLP em momentos onde o tráfego da rede é menor e onde existe um maior excesso de capacidade. O pré-provisionamento é executado quando da mudança de estado da rede e apenas ao término de qualquer conexão para evitar excesso de processamento e aproveitar a liberação de mais recursos, conforme [Dikbiyik et al. 2014].

3.2. Heurística

As heurísticas propostas são para provisionamento de proteção, BProEON, que é online por executar sempre que chega uma requisição de conexão, e para o pré-provisionamento de proteção, BPreEON, que é *offline* por não atender nenhuma requisição e sim reservar a proteção para futuras chegadas de requisição tanto para DLP como para DPP. Ambos algoritmos recebem como parâmetros, a topologia física, as requisições de conexão com a banda, nós origem e destino, e o tipo ou modo de proteção. Estes algoritmos foram projetados para cenários de tráfego dinâmico e objetivam prover proteção total empregando roteamento e alocação de espectro, RSA, agregação de tráfego, caminhos ópticos com *singlehop*, salto único, e *multihop*, vários saltos, considerando a métrica de fragmentação para escolha dos caminhos conforme Equação a seguir.

$$F_{est} = 1 - \frac{c \times Livre(c)}{TotalLivre} \quad (3)$$

, onde c é o número de *slots* necessários para uma determinada conexão, e $Livre(c)$ é uma função que conta o número de solicitações simultâneas de tamanho c que podem ser satisfeitas. Esta equação é válida no pressuposto de que há sempre um espaço livre no sistema. Para esta Equação, cada classe de solicitação com o número de *slots* solicitados tem sua própria medida da fragmentação.

No exemplo da literatura [Dikbiyik et al. 2014], o critério de pré-provisionamento prioriza os caminhos com maior número de comprimentos de ondas livres para proteger o máximo possível. Os nossos algoritmos priorizam os caminhos com menor fragmentação. A implementação de rotas *singlehop* é prioritária e tem como solução secundária as rotas *multihop*, que resolvem a indisponibilidade de recursos fim-a-fim de um par origem-destino com relação à continuidade e contiguidade de espectro. A agregação de tráfego vai

acontecer quando uma chamada de um par origem-destino chega na rede e um caminho para este mesmo par ainda esteja alocado pela rede, evitando nova conexão e economia de recurso.

Os nossos algoritmos de pré-provisionamento são uma adaptação de [Dikbiyik et al. 2014] para redes EON. No pré-provisionamento em [Dikbiyik et al. 2014], a opção foi pela escolha dos caminhos de menor distância combinado com os caminhos de menor número de comprimentos de ondas livres. Em [Dikbiyik et al. 2014], é reservado um caminho secundário para cada comprimento de onda de cada par, e com isto, tem-se a garantia de *backup* para qualquer próxima demanda ou granularidade que seja menor ou igual ao comprimento de onda. No caso do nosso algoritmo de pré-provisionamento, BPreEON, a capacidade a ser reservada sempre será igual ou maior que o tamanho da classe de serviço com maior granularidade, garantindo assim atender a qualquer demanda. Ambos algoritmos utilizam o algoritmo *k-shortest paths* do [Yen 1971]. Nossos algoritmos utilizam a técnica de menores caminhos junto com a escolha dos caminhos menos fragmentados para melhorar o desempenho. Além de se adaptarem às redes EON, nossas heurísticas trazem como novidade a escolha dos caminhos secundários reservando a capacidade da granularidade máxima e a utilização do custo de fragmentação para escolha dos melhores caminhos.

BProEON - Backup Provisioning on EON

Entrada: Physical Topology $G(N, E)$.

Entrada: Proteção *mode*, *flow*.

```

1:  $kpaths = nPathsOrderVar(kpaths, ksp, flow.getRate())$ 
2: Para cada requisição  $kpaths$  faça
3:   Se  $GroomingSinglehop(flow)$  então
4:      $acceptFlow()$ 
5:      $returntrue$ 
6:   Fim Se
7:   Se  $GroomingMultihop(flow)$  então
8:      $acceptFlow()$ 
9:      $returntrue$ 
10:  Fim Se
11:  Se  $AlocaFirstFitSinglehop(flow.getID(), flow.getSource(), flow.getDestination(), flow.getRate(), kpaths, mode)$ 
    então
12:     $acceptFlow()$ 
13:     $returntrue$ 
14:  Fim Se
15:  Se  $AlocaFirstFitMultihop(flow.getID(), flow.getSource(), flow.getDestination(), flow.getRate(), kpaths, mode)$ 
    então
16:     $acceptFlow()$ 
17:     $returntrue$ 
18:  Fim Se
     $blockFlow()$ 
19: Fim Para

```

O algoritmo de provisionamento BProEON mostra uma sequência de métodos: agregação em caminho *singlehop*, agregação em caminho *multihop*, alocação por caminho *singlehop* e finalmente alocação por *multihop*. A forma de alocação é o *first-fit* para todos os algoritmos. Os parâmetros de entrada são a topologia física e a conexão representada pelo seu fluxo que traz os nós pares e sua banda.

O algoritmo BPreEON é executado antes de qualquer requisição de conexão che-

BPreEON - Backup Preprovisioning on EON

Entrada: Physical Topology $G(N, E)$.

Entrada: Proteção *mode*.

```

1: sortPairsIntensityTraffic(s, d, Isd)
2: Para request (s, d) faça
3:   kShortedPaths(s, d, k)
4:   kPaths = sortKpathsFragmentation(kShortedPaths)
5:   Para cada requisição kPaths faça
6:     primaryPath = kPaths[k]
7:     Se mode == DPP então
8:       BackupPath = kPaths[k + 1]
9:       Se primaryPath! = BackupPath então
10:        Se alocate(BackupPath) então
11:          Se alocate(primaryPath) então
12:            returntrue
13:          Fim Se
14:        Fim Se
15:      Fim Se
16:    Senão
17:      enlaces[] = primaryPath
18:      nBackups = primaryPath.enlaces [].length
19:      rBackups = 0
20:      secondaryPath[nBackups] = null
21:      Para each request enlaces faça
22:        backup = kShortedPaths(s.enlaces[], d.enlaces[])
23:        Se canBackup(backup) então
24:          secondaryPath[] = backup
25:          rBackups ++
26:        Fim Se
27:      Fim Para
28:      Se nBackups == rBackups então
29:        Se alocate(BackupPath) então
30:          Se alocate(primaryPath) então
31:            returntrue
32:          Fim Se
33:        Fim Se
34:      Fim Se
35:    Fim Se
36:  Fim Para
37: Fim Para

```

gar à rede, ou sempre que alguma conexão for liberada da rede, ou seja, assim que um fluxo chegar ao seu destino. O BProEON é o programa principal e o BPreEON é o BProEON acrescido do roteamento estático para pré-provisionamento da proteção.

O BPreEON recebe como entrada a topologia $G(N, E)$, onde N é o conjunto de nós e E o conjunto de enlaces e o tipo de proteção, *mode*. O BProEON como parte do BPreEON tem as funções básicas de RSA para *singlehop* e *multihop* junto com a agregação de tráfego. O BProEON tenta primeiro agregar, pois à medida que vão chegando as requisições de conexão, o algoritmo verifica a existência de caminhos ópticos disponíveis para mesma origem e destino. A função *GroomingSinglehop(flow)*, de agregação por salto único ou único caminho óptico, deve encontrar todos os conjuntos de caminhos ópticos, dado o conjunto de todos os caminhos ópticos existentes, para um determinado par origem-destino. Este problema pode ser mapeado no problema clássico de empacotamento de conjuntos, que é NP-Completo. A função

GroomingMultihop(flow), de agregação de saltos múltiplos ou mais de um caminho óptico, deve encontrar todos os conjuntos de caminhos ópticos, dado o conjunto de todos os caminhos ópticos existentes, que tenha ou mesma origem ou mesmo destino, e que entre eles uma origem de um seja igual ao destino do outro ou vice-versa pra identificá-los como conectados entre si. A função *AlocaFirstFitSinglehop(...)*, avalia todos os caminhos de $kpaths$, e tenta encontrar um caminho com o número de *slots* contínuos e contíguos, ou seja, tenta provisionar uma proteção utilizando apenas um caminho óptico. A função *AlocaFirstFitMultihop(...)* tenta criar multicaminhos da mesma forma que a função *GroomingMultihop(flow)*.

O BPreEON acrescenta ao BProEON o roteamento estático da proteção. Este roteamento é feito sempre que uma requisição de conexão chega ou sai da rede, ou seja, o roteamento, apesar de ser feito de forma offline e estático, se adapta dinamicamente ao tráfego. O BPreEON recebe como entrada a topologia $G(N, E)$, onde N é o conjunto de nós e E o conjunto de enlaces. Dado um conjunto de pares origem-destino, $\rho = \{s, d, I_{sd}\}$ onde s é o nó origem e d é o nó destino, I_{sd} é a intensidade de tráfego medida entre os pares. Na linha 1, o método *sortPairsIntensityTraffic(s, d, I_{sd})* gera uma lista de pares s-d ordenada decrescentemente por intensidade de tráfego. Esta lista servirá para um novo ordenamento na linha 3 que gerará K menores caminhos para cada par s-d ordenados por distância e na linha 4 novamente por fragmentação. A variável k pode ser crescente de acordo com a necessidade. Depois, para cada um dos K caminhos, o algoritmo define o caminho primário e um outro caminho de *backup* disjuntos entre si. Caso o tipo de proteção seja DPP, linha 7 a 15, teremos apenas um caminho primário e um caminho *backup*, caso o modo seja DLP, linha 16 a 35, será criado um caminho primários e um caminho *backup* para cada enlace deste caminho primário escolhido. No caso do pré-provisionamento, o caminho primário somente será reservado caso possibilite a criação do *backup*, ou seja, o objetivo é somente reservar caminhos protegidos. O pré-provisionamento reserva um conjunto de *slots* que atenda à maior granularidade de forma a garantir qualquer conexão futura para os pares de nós protegidos.

4. Resultados Numéricos

Tomando como base comparativa o artigo de [Dikbiyik et al. 2014], as proteções que têm melhor *ST*, a DLP e DPP, são avaliadas e comparadas entre o provisionamento e o pré-provisionamento. Apesar da adaptação, o nosso algoritmo optou em não comparar os resultados devido às diferentes características das redes WDM e EON. Para avaliar o desempenho dos algoritmos propostos foram realizadas simulações utilizando o simulador de redes ópticas ONS [Costa L. e Sousa L. e Oliveira F. e Silva K. e Souza P. e Drummond 2016]. Foram implementados os algoritmos de provisionamento e de pré-provisionamento de proteção.

Cada simulação foi realizada 5 vezes utilizando o método de replicações independentes. Para os resultados apresentados foram calculados intervalos de confiança com 95% de confiabilidade. Em cada simulação foram geradas 10.000 requisições de conexão para diferentes níveis de carga na rede. A carga, medida em *Erlang*, é definida como a taxa média de chegada \times a duração da chamada \times a banda passante da chamada normalizada pela capacidade do enlace. As principais métricas utilizadas foram a taxa média de bloqueio de banda (MBBR) e o percentual de proteção obtida por chamada aceita na rede. Para cada evento de chegada simulado, os algoritmos foram executados

levando em consideração a origem, destino, demanda de banda passante e com proteção total DLP. Caso o algoritmo encontre uma solução, os recursos são alocados na rede e a chamada aceita, caso contrário, a chamada é bloqueada. A topologia considerada nas simulações foi a USANet com 24 nós e 43 enlaces bidirecionais, Figura 2. As granularidades foram divididas em 200 Mb, 10Gb e 20Gb e distribuídas em demandas uniformes. A modulação empregada é a *QPSK*, com 128 slots, 2 slots de banda de guarda e tamanho do *slot* com 12500 Gbit/sec. As cargas testadas são para tráfego baixo e intenso, tendo como parâmetro principal o pré-provisionamento.

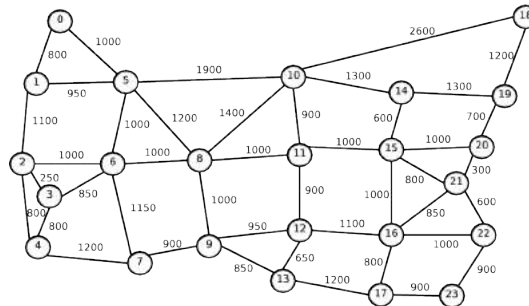


Figura 2. Topologia USANet

Na Figura 3 e na Figura 4, estamos comparando a eficiência entre as redes WDM representada pelo algoritmo BProEON(RWA), e EON, com o algoritmo BProEON(RSA). Observa-se que em altas cargas e nas redes EON, o resultado do BProEON(RSA) é pior que o do BProEON(RWA) devido ao maior dano causado pela fragmentação. Outro resultado a destacar é que as redes WDM têm uma capacidade maior de agregação que as redes EON. Em redes WDM, o RWA tem um resultado bem pior em baixas cargas, mas em altas cargas o resultado é melhor, constatando o dano da fragmentação para as redes EON, principalmente em momento de congestão do tráfego. O objetivo desta comparação é destacar as vantagens e desvantagens entre as tecnologias WDM e EON. Os dois algoritmos também fazem agregação e provisão de um salto e multi-saltos. A topologia física da rede USANet WDM é de 32 comprimentos de ondas com 50 GHz de espectro e para a rede EON é de modulação *BPSK*, com 128 slots, 2 slots de banda de guarda e tamanho do slot com 12,5 GHz de espectro.

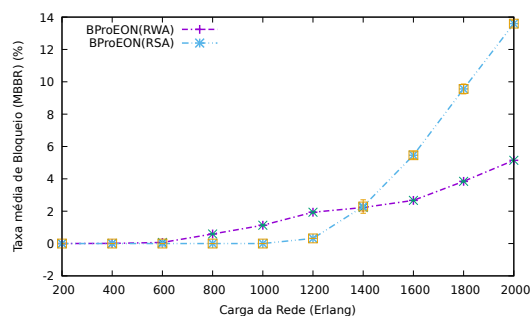


Figura 3. MBBR entre Provisionamento RWA(WDM) e RSA(EON).

Como o objetivo da pesquisa é também melhorar a disponibilidade e o tempo de configuração das proteções, a capacidade de proteção é o alvo principal dos algoritmos propostos. A Figura 5 destaca a eficiência da proteção do pré-provisionamento com relação ao provisionamento. O pré-provisionamento DLP protege em média 4 vezes mais

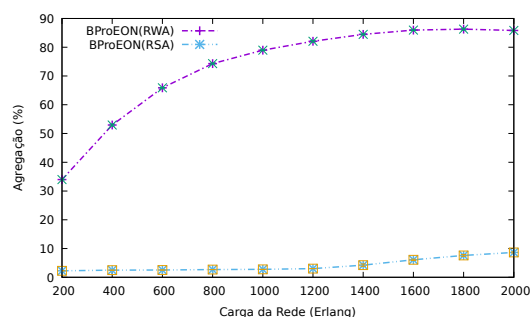


Figura 4. Agregação entre Provisionamento RWA(WDM) e RSA(EON).

que o provisionamento DLP, e o pré-provisionamento DPP protege de três e duas vezes mais que o provisionamento DPP. A proteção dos pré-provisionamentos é bem superior à dos provisionamentos.

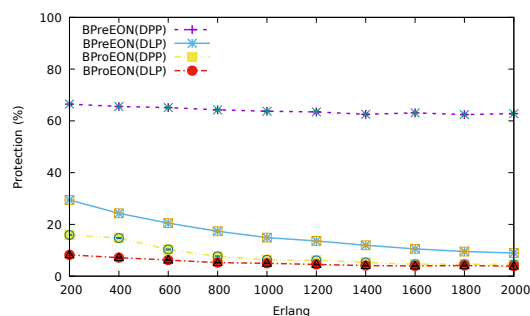


Figura 5. Proteção para Provisionamento e Pré-provisionamento.

Na Figura 5, o pré-provisionamento tem um destaque maior que o provisionamento, principalmente pela eficiência na proteção dos caminhos. A técnica de provisionamento de tráfego com roteamento estático destaca a quantidade de caminhos protegidos pelo pré-provisionamento sendo bem maior que a quantidade de caminhos protegidos pelo provisionamento. Em todas as técnicas, as proteções vão diminuindo à medida que os recursos vão ficando mais escassos, ou seja, nas altas cargas de tráfego. Outra característica observada é a ineficiência da técnica DLP com relação a DPP devido à sua característica gulosa de reservar backups. Apesar da técnica DLP proteger menos caminhos que a DPP, o número de caminhos de backups necessários para proteger o caminho primário é maior que a técnica DPP. Assim, o rendimento do MBBR para a proteção DPP é superior à DLP.

A Figura 6 mostra a eficiência das proteções por caminho, DPP, sobre as proteções por enlace, DLP, com relação à MBBR. Isto ocorre devido à característica gulosa da proteção por enlace. A técnica DLP propicia um maior consumo de recursos que a DPP. A proteção total e a proteção por enlace consomem muitos recursos da rede, propiciando uma rápida escassez de recursos. Entre todas as técnicas testadas, o pré-provisionamento DPP é o mais eficiente. O pré-provisionamento tem como principal solução fazer o roteamento antecipado e *offline* de acordo com as características das intensidades de tráfegos de cada par origem-destino. Entre os mesmos tipos de proteção, o pré-provisionamento tem um rendimento melhor que o provisionamento para todas as técnicas.

Na Figura 7, o pré-provisionamento apresenta uma maior agregação de tráfego que

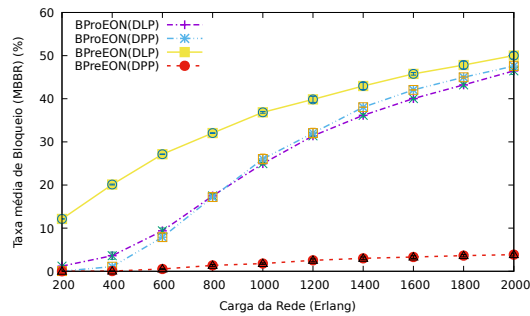


Figura 6. MBBR para Provisionamento e Pré-provisionamento.

o provisionamento, o que é esperado devido à reserva de caminhos com a maior granularidade e de forma prévia às demandas. O pré-provisionamento cria o problema de retirar recursos da rede antes das chegadas das demandas, mas mitiga este desperdício através do aumento da capacidade de agregação. A agregação vai diminuindo à medida que a taxa de bloqueio aumenta e os recursos vão ficando mais escassos devido ao aumento do tráfego.

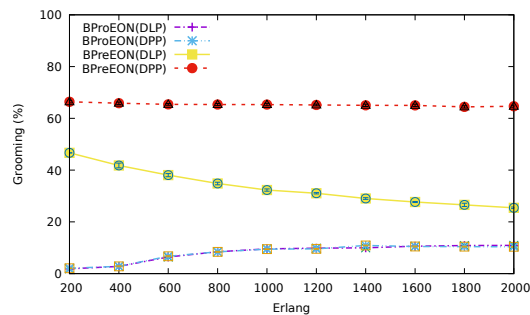


Figura 7. Agregação para Provisionamento e Pré-provisionamento.

5. Conclusão

Os autores deste artigo chegaram à conclusão que uma previsão do tráfego sempre ajudará no planejamento para a alocação antecipada de recursos, e principalmente se adaptada às características realistas de tráfego da rede em teste. Algumas vantagens e desvantagens foram destacadas.

O pré-provisionamento tem uma grande vantagem com relação ao provisionamento que é o ajuste de suas reservas com base na previsão do tráfego. O provisionamento tenta a melhor solução apenas no momento da chegada da requisição de conexão. O pré-provisionamento DLP tem um melhor tempo ST , mas deve ser utilizado apenas em baixas cargas e quando o excesso de capacidade é alto. O pré-provisionamento DPP protege bem mais que o DLP. A fragmentação é muito danosa em altas cargas e alocar e reservar capacidade com granularidade bem superior, isto é, da mesma forma que nas redes WDM, pode mitigar este problema.

O algoritmo deste estudo confirma a eficiência do pré-provisionamento que é destacado no artigo [Dikbiyik et al. 2014] e abre espaço para melhorar outras variáveis que não o tempo de configuração da proteção. O pré-provisionamento aumenta a capacidade de proteção e consequentemente a disponibilidade da rede. A adaptação do nosso

algoritmo com a reserva da maior granularidade e a escolha dos caminhos de melhor fragmentação é a chave para a eficiência do algoritmo. O maior desafio para os próximos trabalhos deverá ser testar técnicas de reprovisionamento.

Referências

- Acharya, S., Gupta, B., Risbood, P., and Srivastava, A. (2004). Mobipack: optimal hitless sonet defragmentation in near-optimal cost. In *IEEE INFOCOM 2004*, volume 3, pages 1819–1829 vol.3.
- Bhagavath, V. K. and Sobol, H. (1992). Reliability evaluation and protection schemes for dense wdm network architectures. In *Communications, 1992. ICC '92, Conference record, SUPERCOMM/ICC '92, Discovering a New World of Communications., IEEE International Conference on*, pages 174–178 vol.1.
- Castro, A., Velasco, L., Ruiz, M., and Comellas, J. (2012). Single-path provisioning with multi-path recovery in flexgrid optical networks. In *Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT), 2012 4th International Congress on*, pages 745–751.
- Cerutti, I., Fumagalli, A., and Sheth, S. (2004). Performance versus cost analysis of wdm networks with dynamic traffic grooming capabilities. In *Computer Communications and Networks, 2004. ICCCN 2004. Proceedings. 13th International Conference on*, pages 425–430.
- Chen, X., Ji, F., and Zhu, Z. (2014). Service availability oriented p-cycle protection design in elastic optical networks. *IEEE/OSA Journal of Optical Communications and Networking*, 6(10):901–910.
- Christodoulopoulos, K., Tomkos, I., and Varvarigos, E. A. (2011). Elastic bandwidth allocation in flexible ofdm-based optical networks. *Journal of Lightwave Technology*, 29(9):1354–1366.
- Costa L. e Sousa L. e Oliveira F. e Silva K. e Souza P. e Drummond, A. (2016). Ons: Simulador de eventos discretos para redes Ópticas wdm/eon. In: *Salão de Ferramentas, 2016, Salvador. XXXIV Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos, 2016*.
- Dikbiyik, F., Sahasrabudhe, L., Tornatore, M., and Mukherjee, B. (2010). Exploiting excess capacity for improved robustness in optical WDM backbone mesh networks. *Optical Fiber Communication (OFC), collocated National Fiber Optic Engineers Conference, 2010 Conference on (OFC/NFOEC)*, pages 1–3.
- Dikbiyik, F., Sahasrabudhe, L., Tornatore, M., and Mukherjee, B. (2012). Exploiting excess capacity to improve robustness of wdm mesh networks. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 20(1):114–124.
- Dikbiyik, F., Tornatore, M., and Mukherjee, B. (2014). Exploiting excess capacity for survivable traffic grooming in optical backbone networks. *IEEE/OSA Journal of Optical Communications and Networking*, 6(2):127–137.
- Gerstel, O., Jinno, M., Lord, A., and Yoo, S. J. B. (2012). Elastic optical networking: a new dawn for the optical layer? *IEEE Communications Magazine*, 50(2):s12–s20.

- Jinno, M., Kozicki, B., Takara, H., Watanabe, A., Sone, Y., Tanaka, T., and Hirano, A. (2010). Distance-adaptive spectrum resource allocation in spectrum-sliced elastic optical path network. *IEEE Communications Magazine*, 48(8):138–145.
- Liu, M., Tornatore, M., and Mukherjee, B. (2012). Survivable traffic grooming in elastic optical networks - Shared path protection. *IEEE International Conference on Communications*, pages 6230–6234.
- Mas, C., Nguyen, H. X., and Thiran, P. (2005). *Failure Location in WDM Networks*, pages 379–399. Springer US, Boston, MA.
- Rosa, A., Cavdar, C., Carvalho, S., Costa, J., and Wosinska, L. (2012). Spectrum allocation policy modeling for elastic optical networks. *High Capacity Optical Networks and Emerging/Enabling Technologies*, pages 242–246.
- Ruan, L. and Xiao, N. (2013). Survivable multipath routing and spectrum allocation in ofdm-based flexible optical networks. *IEEE/OSA Journal of Optical Communications and Networking*, 5(3):172–182.
- Saleh, A. A. M. and Simmons, J. M. (2011). Technology and architecture to enable the explosive growth of the internet. *IEEE Communications Magazine*, 49(1):126–132.
- Shao, X., Yeo, Y. K., Xu, Z., Cheng, X., and Zhou, L. (2012). Shared-path protection in ofdm-based optical networks with elastic bandwidth allocation. In *Optical Fiber Communication Conference and Exposition (OFC/NFOEC), 2012 and the National Fiber Optic Engineers Conference*, pages 1–3.
- Shen, G., Guo, H., and Bose, S. K. (2016). Survivable elastic optical networks: survey and perspective (invited). *Photonic Network Communications*, 31(1):71–87.
- Sone, Y., Watanabe, a., Imajuku, W., Tsukishima, Y., Kozicki, B., Takara, H., and Jinno, M. (2011). Bandwidth Squeezed Restoration in Spectrum-Sliced Elastic Optical Path Networks (SLICE). *IEEE/OSA Journal of Optical Communications and Networking*, 3(3):223–233.
- Walkowiak, K., Klinkowski, M., Rabiega, B., and Goścień, R. (2014). Routing and spectrum allocation algorithms for elastic optical networks with dedicated path protection. *Optical Switching and Networking*, 13:63–75.
- Wang, Y., Cao, X., and Pan, Y. (2011). A study of the routing and spectrum allocation in spectrum-sliced elastic optical path networks. pages 1503–1511.
- Wilson, P. R., Johnstone, M. S., Neely, M., and Boles, D. (1995). Dynamic storage allocation: A survey and critical review. pages 1–116. Springer-Verlag.
- Yen, H.-H. and Lee, S. S. W. (2007). QoS aware traffic grooming and integrated routing on IP over WDM networks. *Photonic Network Communications*, 14(1):1–10.
- Yen, J. Y. (1971). Finding the k shortest loopless paths in a network. *Management Science*, 17(11):712–716.
- Zhang, G., De Leenheer, M., Morea, A., and Mukherjee, B. (2013). A survey on ofdm-based elastic core optical networking. *Communications Surveys Tutorials, IEEE*, 15(1):65–87.

Recomendação de Conteúdo e Desempenho de Sistemas de Cache

Raul G. M. de Freitas,¹ Daniel Menasché,¹ Carla Delgado¹ e Artur Ziviani²

¹ Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, RJ

²Laboratório Nacional de Computação Científica (LNCC), Petrópolis, RJ

Abstract. *Recommenders and cache systems affect millions of Internet users nowadays. On the one hand, an important share of the content demand from systems such as Netflix comes from recommendations generated by the Netflix platform itself. On the other hand, cache systems serve a significant portion of this content demand. Although content recommender and cache systems are two of the main components of the current Internet, the relation between them is not yet fully understood. In this paper, we propose models and optimization problems that aim at better understanding this relation. We show that some instances of the formulated problem have a simple closed-form solution. We also present preliminary results using Movielens traces. Our work is a step forward towards a better understanding of the mutual implications of recommender systems and caching algorithms, what we believe to be a promising front to further explore for benefiting both content providers and content consumers in the long run.*

Resumo. *Sistemas de recomendação e caches afetam milhões de usuários na Internet nos dias de hoje. Por um lado, uma demanda expressiva em sistemas como Netflix advém de recomendações feitas pela própria plataforma. Por outro lado, sistemas de cache servem uma significativa porção da demanda por conteúdo. Embora sistemas de recomendação e caches sejam dois dos componentes fundamentais da Internet atual, sua relação ainda não é bem entendida. Neste artigo, propomos modelos e problemas de otimização para melhor compreender essa relação. Mostramos que algumas instâncias do problema proposto admitem solução simples em fórmula fechada, enquanto que outras instâncias requerem solução numérica. Apresentamos também resultados preliminares usando traces do Movielens. Consideramos que nosso trabalho traz insumos para uma melhor compreensão das implicações mútuas de sistemas de recomendação e dos algoritmos de caching, o que acreditamos ser uma frente promissora a ser explorada no sentido de beneficiar provedores e consumidores de conteúdo no longo prazo.*

1. Introdução

Sistemas de recomendação de conteúdo e redes de cache são dois dos pilares da Internet do futuro. Estima-se que sistemas de recomendação sejam responsáveis por 80% das demandas no Netflix [Gomez-Uribe e Hunt, 2016], indicando que a essa demanda possui alta elasticidade [Turnbull, 2017]. Enquanto os sistemas recomendação moldam a demanda dos usuários por conteúdos, redes de cache afetam o desempenho da rede e consequentemente a qualidade de serviço (QoS) experimentada pelos usuários.

Neste artigo, apresentamos modelos e algoritmos que capturam o impacto dos sistemas de recomendação nos sistemas de cache. Para tal, estendemos o *framework* de maximização de utilidade do sistema recentemente proposto por [Dehghan et al., 2016]. Em tal *framework*, originalmente assume-se que as demandas dos usuários por conteúdos são dadas e fixas. Neste artigo, em contrapartida, assumimos que as demandas por conteúdos são as variáveis de controle. Fazemos então as seguintes perguntas:

1. Assumindo demandas elásticas por conteúdo, qual é o melhor sistema de recomendação de conteúdos para usuários, levando em conta o mecanismo de funcionamento das caches?
2. Qual o impacto da perturbação da demanda nas métricas de desempenho das caches?

Para responder a tais perguntas, formulamos problemas de otimização simples. Em seguida, adaptamos os problemas para determinados sistemas de cache que recentemente receberam atenção significativa na literatura, a saber TTL caches [Dehghan et al., 2016] e *reinforced counters* (RC) [Domingues et al., 2017]. Mostramos então que algumas das variantes dos problemas propostos admitem solução em fórmula fechada. Em resumo, nossas contribuições são:

1-Formulação do problema de recomendação ótimo: Formulamos um problema de otimização que visa ajustar parâmetros do sistema de recomendação, levando em conta características do sistema de cache. O problema é uma extensão daquele originalmente proposto em [Dehghan et al., 2016], sendo que agora as variáveis de controle passam a ser as taxas de requisição a cada conteúdo, controladas pelo sistema de recomendação.

2-Comparação de diferentes mecanismos de *caching*: Especializamos o problema de otimização para diferentes políticas de *caching*. Em particular, focando em caches do tipo TTL ou RC, o problema de otimização é consideravelmente simplificado. Em alguns casos, mostramos que o problema admite solução em fórmula fechada.

3-Avaliação de demanda inspirada por sistema real: Avaliamos o impacto do sistema de recomendação no desempenho do sistema, usando traces do MovieLens [Miller et al., 2003].

O restante deste artigo está organizado da seguinte forma. A seção 2 descreve os conceitos fundamentais sobre os quais o trabalho foi construído. A seção 3 apresenta os modelos que utilizamos para calcular a probabilidade de hits em caches do tipo TTL e RC. Na seção 4 é apresentada nossa formulação do problema de otimização relacionando recomendação e desempenho, e na seção 5, a solução proposta para este problema. Os resultados obtidos usando dados reais para parametrização são mostrados na seção 6. A seção 7 faz uma breve revisão dos trabalhos relacionados, comparando-os com a nossa proposta, e a na seção 8 apresentamos nossas conclusões.

2. Fundamentos

2.1. Caches TTL e RC

Nesta seção, descrevemos brevemente o comportamento de caches *time to live* (caches TTL) e de caches baseados em *reinforced counters* (RC) [Dehghan et al., 2016, Domingues et al., 2017].

Caches TTL vêm recebendo significativa atenção na literatura, devido à sua simplicidade e à sua capacidade de replicar o comportamento de caches padrão, do tipo LRU e FIFO. Uma cache TTL associa, a cada conteúdo i , um contador T_i . O contador é decrementado a cada unidade de tempo. Quando o contador de um determinado conteúdo atinge o valor zero, esse conteúdo é removido da cache. Quando o conteúdo é requisitado novamente, esse conteúdo é re-inserido e o contador é então reiniciado ao valor T_i . Esse comportamento corresponde ao TTL sem reset.¹ O TTL com reset é similar. Entretanto, neste último caso toda vez que o conteúdo é requisitado, o contador é novamente setado para T_i , independente de o conteúdo estar ou não presente na cache (vide Figura 1).

Por sua vez, os caches baseados em *reinforced counters* (RCs) são variantes dos TTL caches [Domingues et al., 2015]. A cada vez que o conteúdo é acessado, o contador é incrementado em um. A cada intervalo de tempo ditado pelo temporizador, o contador é decrementado. Quando o contador alcança o valor zero, o conteúdo é removido da cache. Quando o conteúdo é requisitado novamente, o conteúdo é re-inserido e o contador é setado igual a um. Em caches TTL, o temporizador é decrementado a unidades de tempo fixo, iguais a uma unidade de tempo. Já em RCs, o temporizador do conteúdo i é decrementado em intervalos de tempo exponencialmente distribuídos, com taxa μ_i . Caches do tipo TTL e RC têm recebido atenção na literatura por três motivos fundamentais:

Simplicidade: Em caches do tipo TTL e RC, a dinâmica de inserção e remoção de cada conteúdo é completamente desacoplada dos outros conteúdos. Ou seja, para determinar quando um conteúdo será removido ou inserido novamente, basta conhecer-se os parâmetros daquele conteúdo. Em caches do tipo LRU e FIFO, por exemplo, precisa-se conhecer o estado completo da cache para determinar-se quando um conteúdo será removido ou re-inserido.

Aproximação de outras políticas: Usando caches TTL, pode-se aproximar outras políticas, como LRU e FIFO [Fofack et al., 2014, Dehghan et al., 2016]. Este resultado foi primeiramente observado em [Fagin, 1977] e redescoberto em [Che et al., 2009]. Desta forma, caso se deseje que uma cache se comporte como uma LRU ou FIFO, pode-se ainda assim adotar caches TTL, desde que seus parâmetros sejam ajustados adequadamente.

Adoção em sistemas reais: Caches TTL são utilizadas em sistemas do tipo DNS e ARP. Nesses sistemas, entradas expiram de tempos em tempos para permitir renovação, dado um prazo de validade. Caches TTL facilmente permitem que prazos de expiração sejam implementados.

2.2. Maximização de Utilidade

A cada conteúdo associamos uma função de utilidade. A função de utilidade pode levar em consideração os interesses dos usuários bem como o desempenho da cache. No caso mais geral, a utilidade associada a um conteúdo i depende da popularidade (taxa de requisição efetiva) do conteúdo, λ_i , da popularidade alvo (popularidade referência) estabelecida pelo sistema de recomendação de conteúdo, que leva em conta a natureza do conteúdo e os gostos dos usuários, $\tilde{\lambda}_i$, e da taxa de *hits* (*hit rate*), h_i . A função de utilidade é dada por $U_i(h_i, \lambda_i, \tilde{\lambda}_i)$.

¹Note que numa cache TTL sem reset, o contador só é reiniciado quando o conteúdo é reinsertado na cache.

Tabela 1. Notação adotada neste artigo.

Variável	Descrição
N	número de conteúdos
h_i	probabilidade de <i>hit</i> do conteúdo i
Λ_i	taxa de chegada de requisições ao conteúdo i , sem o sistema de recomendação
$\tilde{\lambda}_i$	taxa de chegada de requisições ao conteúdo i , perturbada pelo sistema de recomendação (não modificado)
λ_i	taxa de chegada de requisições ao conteúdo i , perturbada pelo sistema de recomendação proposto neste trabalho
T	tempo característico da cache (para LRU e FIFO)
B	tamanho da cache
ϵ	limiar de aceitação do nível de perturbação do sistema de recomendação modificado
$U_i(\lambda_i, \tilde{\lambda}_i, h_i)$	função de utilidade associada ao conteúdo i
p_{ij}	variável de controle probabilidade de recomendar j para um usuário que requisita i
c_{ij}	probabilidade do sistema de recomendação (puro) recomendar j para um usuário que requisita i

Em [Dehghan et al., 2016] assume-se que T_i , o parâmetro básico da cache TTL, é a variável de controle. Já em [Domingues et al., 2015], assume-se que pode-se controlar a taxa de decréscimo do temporizador, μ_i . Tanto T_i quanto μ_i afetam h_i , que por sua vez afeta a função de utilidade. Neste trabalho, em contrapartida, assume-se que T_i ou μ_i são dados, e que a variável de controle, influenciada pelo sistema de recomendação, é a taxa de chegada de requisições ao conteúdo, λ_i .

3. Modelos de Caches TTL e RC

Nesta seção, introduzimos modelos para determinar a probabilidade de *hit* em caches TTL e RC.

3.1. Quantidades Básicas

Consideramos um conjunto de N conteúdos. Seja Λ_i a taxa de chegada de requisições ao conteúdo $i = 1, \dots, N$, sem levar em consideração o sistema de recomendação. Para cada conteúdo i , seja h_i a probabilidade de *hit* correspondente.

Seja H_i a variável aleatória que determina se o conteúdo i está na cache, ou seja,

$$H_i = \begin{cases} 1, & \text{conteúdo } i \text{ na cache,} \\ 0, & \text{caso contrário.} \end{cases} \quad (1)$$

Então, h_i é dado pelo valor esperado de H_i ,

$$h_i = \mathbb{P}(H_i = 1) = \mathbb{E}[H_i], \quad i = 1, \dots, N. \quad (2)$$

A Tabela 1 resume a notação considerada neste artigo.

3.2. Restrição na Ocupação Média

Assumimos que todos os conteúdos de interesse tem o mesmo tamanho (esta hipótese pode ser facilmente relaxada). Com isso, consideramos que a cache possui uma capacidade um pouco maior que B , suficiente para armazenar B conteúdos e outros mais. A fim

de simplificar a análise, assumimos que a restrição sobre a ocupação da cache é dada em termos do número médio de conteúdos armazenados. Ou seja, assumimos que em alguns momentos a cache pode conter mais que B elementos, e em outros momentos menos que B , mas na média a cache deve conter B elementos. Desta forma, assumimos que

$$\sum_{i=1}^N h_i = B. \quad (3)$$

Note que h_i é a fração de tempo que o conteúdo i passa na cache. Logo, $\sum_{i=1}^N h_i$ corresponde ao número médio B de conteúdos na cache.

Na prática, muitas caches atualmente já possuem a elasticidade para armazenar dinamicamente mais ou menos conteúdos ao longo do tempo. O Amazon ElastiCache é um exemplo deste tipo de mecanismo [Amazon, 2015]. Alternativamente, mostrou-se em [Dehghan et al., 2016] que dimensionando a cache para conter um tamanho um pouco maior que B , ou seja, $B(1 + \tilde{\epsilon})$, pode-se garantir uma baixa probabilidade de *overflow*, logo incorrendo em um pequeno *overhead*.

3.3. Caches TTL

Consideremos primeiramente caches com reset. Uma vez que o conteúdo i é removido, ele será re-inserido após tempo médio $1/\lambda_i$. Uma vez inserido, com probabilidade $e^{-\lambda_i T_i}$ a próxima requisição ocorrerá depois do intervalo T_i e resultará em um *miss*. Caso contrário, resultará em um *hit* e um novo ciclo é iniciado. Logo,

$$h_i = 1 - e^{-\lambda_i T_i}. \quad (4)$$

Consideremos agora caches sem reset. Nesse caso, uma vez que o conteúdo é inserido, as próximas $\lambda_i T_i$ requisições, em média, irão gerar hits. Logo, a fração de hits é

$$h_i = 1 - \frac{1}{1 + \lambda_i T_i} = \frac{\lambda_i T_i}{1 + \lambda_i T_i}. \quad (5)$$

3.4. Caches RC

Caches RC são modeladas por cadeias de Markov do tipo nascimento e morte. No caso mais simples, assumimos que quando o contador atinge o valor zero, o conteúdo é removido da cache. Então, a probabilidade de hit é dada pela probabilidade de a cadeia de Markov estar em qualquer estado diferente de zero. Logo,

$$h_i = \lambda_i / \mu_i. \quad (6)$$

A Figura 1 ilustra o comportamento das caches TTL e RC.

3.5. Caches LRU e FIFO: Tempos Característicos

Caches do tipo LRU e FIFO funcionam como *filtros passa baixa*. Observa-se que o limiar de filtragem de tais caches é dado por uma constante T , chamada de tempo característico da cache. Conteúdos i , tais que $\lambda_i < 1/T$, tem baixa popularidade e são ignorados pela cache. Conteúdos tais que $\lambda_i > 1/T$, por outro lado, ficam na cache com grande

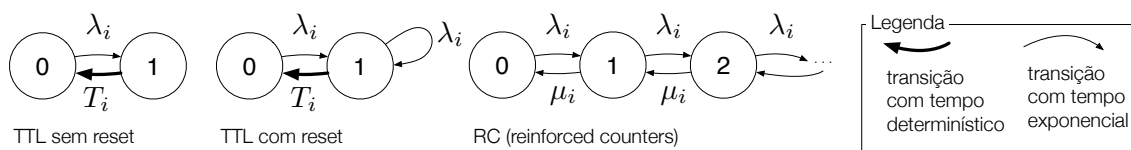


Figura 1. Caches TTL e RC.

probabilidade. O tempo característico T da cache é determinado pela solução do seguinte problema de ponto fixo:

$$\sum_{i=1}^N 1 - e^{-\lambda_i T} = B \tag{7}$$

para caches do tipo LRU, e

$$\sum_{i=1}^N \frac{\lambda_i T}{1 + \lambda_i T} = B \tag{8}$$

para caches FIFO.

Dado o vetor de demandas $(\lambda_1, \dots, \lambda_N)$, pode-se determinar o tempo característico da cache, bem como as demais métricas de interesse. Logo, para caches LRU,

$$h_i = 1 - e^{-\lambda_i T} \tag{9}$$

e, para caches FIFO,

$$h_i = 1 - \frac{1}{1 + \lambda_i T} = \frac{\lambda_i T_i}{1 + \lambda_i T}. \tag{10}$$

3.6. Sistema Original e Perturbado

Os resultados apresentados nesta seção permitem-nos obter a probabilidade de hit para cada conteúdo, sabendo-se o tamanho da cache B e o vetor de demandas $(\lambda_1, \dots, \lambda_N)$.

Assumimos que o vetor de demandas original, sem perturbação pelo sistema de recomendação, é dado por $(\Lambda_1, \dots, \Lambda_N)$. O sistema de recomendação perturba tal vetor, dando origem ao vetor $(\tilde{\lambda}_1, \dots, \tilde{\lambda}_N)$.

Seja c_{ij} a probabilidade do sistema de recomendação indicar o conteúdo j para um usuário que requisita o conteúdo i . Neste trabalho, assumimos que

$$\tilde{\lambda}_i = \sum_{j=1}^N \Lambda_j c_{ji}. \tag{11}$$

Finalmente, seja p_{ij} a probabilidade do sistema de recomendação modificado, proposto neste trabalho, indicar o conteúdo j para um usuário que requisita i . Seja λ_i a demanda efetiva pelo conteúdo i , logo

$$\lambda_i = \sum_{j=1}^N \Lambda_j p_{ji}. \tag{12}$$

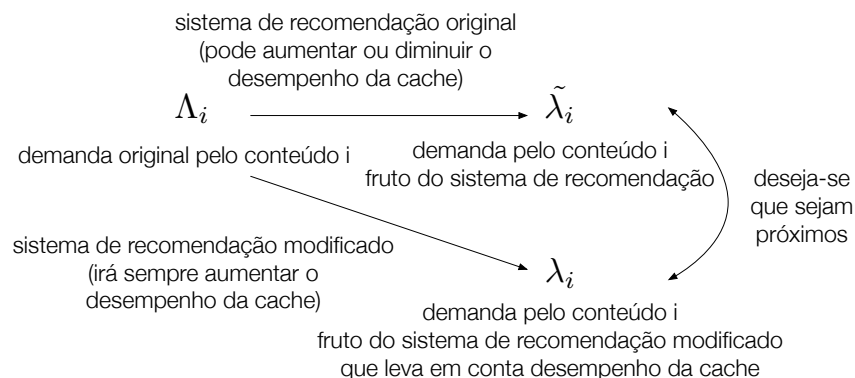


Figura 2. Perturbação da demanda pelo sistema de recomendação

Em princípio, desejamos que λ_i não difira em muito de $\tilde{\lambda}_i$ (vide Figura 2). Afinal, o sistema de recomendação original é calibrado de tal forma a satisfazer as demandas dos usuários, levando em conta seus gostos por conteúdos. Entretanto, damos uma certa flexibilidade para que o sistema leve em conta características de desempenho, como o funcionamento das caches, a fim de perturbar a demanda de forma estratégica. Na seção seguinte, definimos os problemas de otimização considerados no restante deste trabalho.

4. Formulação do Problema de Otimização

A seguir, estabelecemos o problema de otimização em sua forma mais geral. Consideramos que a cada conteúdo i está associada uma função de utilidade $U_i(h_i, \lambda_i, \tilde{\lambda}_i)$. A função de utilidade leva em conta o desempenho da rede, por meio da probabilidade de *hit*, h_i , bem como o desvio da demanda, λ_i , em relação ao valor padrão estabelecido pelo algoritmo de recomendação, $\tilde{\lambda}_i$.

$$\max \sum_{i=1}^N U_i(h_i, \lambda_i, \tilde{\lambda}_i) \quad (13)$$

$$\sum_{i=1}^N h_i = B \quad (14)$$

$$h_i = \varphi_i(\lambda_i) \quad (15)$$

$$\lambda_i = \sum_{j=1}^N \Lambda_j p_{ji} \quad (16)$$

$$\phi_{ij}(p_{ji}, c_{ji}) \leq \epsilon, \quad i = 1, \dots, N, j = 1, \dots, N \quad (17)$$

Note que o valor de p_{ii} pode ser setado de acordo com as hipóteses do problema. Por exemplo, pode-se assumir que $p_{ii} = 1$. Assim, capturamos o fato de que um usuário irá sempre assistir primeiro o conteúdo requisitado, e em seguida um conteúdo recomendado pelo sistema de recomendação. Nesta seção e nas próximas, não fazemos nenhuma restrição sobre o valor de p_{ii} . Em particular, um usuário que requisita o conteúdo i pode eventualmente nunca vir a assistir tal conteúdo. Para as outras entradas da matriz P ,

assumimos que

$$\sum_{i=1, i \neq j}^N p_{ji} \leq 1 \quad (18)$$

A função objetivo (13) captura o fato de que se deseja maximizar a soma das funções utilidade associadas a cada conteúdo. A restrição (14) refere-se à ocupação esperada da cache, que não deve exceder B . A restrição (15) determina a probabilidade de *hit* em função do mecanismo de cache adotado. Esta equação deve ser substituída por alguma dentre as equações (4), (5) ou (6).

As restrições (16) e (17) são opcionais, e detalhes relacionados às probabilidades associadas ao sistema de recomendação. A equação (16) determina λ_i em função do sistema de recomendação. Note que, dependendo do nível de detalhe que se deseja capturar, esta equação pode ser ignorada, uma vez que determinados os λ_i pode-se buscar, separadamente, um conjunto de p_{ji} que resolvam (16). Finalmente, o conjunto de M equações (17) capturam restrições sobre a disparidade entre p_{ji} e c_{ji} . Por exemplo, para se capturar o fato de que p_{ji} e c_{ji} devem ser próximos, pode-se estabelecer

$$\phi_{ij}(p_{ji}, c_{ji}) = |p_{ji} - c_{ji}| \quad (19)$$

Alternativamente, pode-se substituir algumas das restrições estritas por funções de penalidade. Por exemplo, a restrição (14) pode ser substituída por um termo extra na função de utilidade, que passa a ser

$$\max \sum_{i=1}^N U_i(h_i, \lambda_i, \tilde{\lambda}_i) - \beta \left(\sum_{i=1}^N h_i - B \right) \quad (20)$$

Esta é uma estratégia padrão usada para resolver problemas de otimização convexos. Esta abordagem é inspirada no método Lagrangiano [Boyd e Vandenberghe, 2004], que iremos adotar na seção a seguir para resolver algumas instâncias simples do problema em questão.

5. Solução do Problema de Otimização

A seguir, resolvemos instâncias particulares do problema de otimização proposto na última seção. Em particular, assumimos que a função de utilidade captura o erro médio quadrático entre a demanda λ_i e a demanda referência $\tilde{\lambda}_i$,

$$U_i(\lambda_i, \tilde{\lambda}_i) = - \sum_{i=1}^N (\lambda_i - \tilde{\lambda}_i)^2 \quad (21)$$

Além disso, ignoramos as restrições (16) e (17).

Para simplificar a apresentação, assumimos que a variável de controle é λ_i , assumindo que p_{ij} pode ser ajustada, a posteriori, de acordo. Desta forma, o problema de otimização passa a ser

$$\min_{\boldsymbol{\lambda}} \sum_{i=1}^N (\lambda_i - \tilde{\lambda}_i)^2 \quad (22)$$

$$\sum_{i=1}^N \varphi_i(\lambda_i) = B \quad (23)$$

O Lagrangiano é dado por

$$\mathcal{L}(\boldsymbol{\lambda}, \tilde{\boldsymbol{\lambda}}, \beta) = \sum_{i=1}^N (\lambda_i - \tilde{\lambda}_i)^2 - \beta \left(\sum_{i=1}^N \varphi_i(\lambda_i) - B \right) \quad (24)$$

5.1. Caches RC

Nesta seção, consideramos caches RC. Neste caso, aplicando (6) em (15), temos que

$$\varphi_i(\lambda_i) = \lambda_i / \mu_i \quad (25)$$

onde assumimos que os μ_i , $i = 1, \dots, N$, são dados e fixos. Neste caso,

$$\mathcal{L}(\boldsymbol{\lambda}, \tilde{\boldsymbol{\lambda}}, \beta) = \sum_{i=1}^N (\lambda_i - \tilde{\lambda}_i)^2 - \beta \left(\sum_{i=1}^N \lambda_i / \mu_i - B \right) \quad (26)$$

Derivando o Lagrangiano com relação a λ_i e igualando o resultado a zero, obtemos

$$\lambda_i = \frac{2\tilde{\lambda}_i - \beta / \mu_i}{2} \quad (27)$$

$$\beta = 2 \frac{\left(\sum_{i=1}^N \tilde{\lambda}_i / \mu_i \right) - B}{\sum_{i=1}^N 1 / \mu_i^2} \quad (28)$$

Note que não escrevemos explicitamente as restrições de não-negatividade relativas a λ_i . Em muitos casos práticos, observamos que as variáveis de controle naturalmente assumem valores positivos. Caso contrário, pode-se facilmente ajustar a solução do problema para lidar-se com tais restrições [Boyd e Vandenberghe, 2004].

Exemplo numérico: Considere $N = 3$ conteúdos, cuja demanda é inspirada pela distribuição Zipf, $\tilde{\boldsymbol{\lambda}} = (1, 1/2, 1/3)$. Seja $B = 1$ (cache só suporta armazenar, em média, um conteúdo), e $\boldsymbol{\mu} = (1, 1, 1)$. Então, a solução do problema acima é dada por $\boldsymbol{\lambda} = (13/18, 4/18, 1/18)$. O conteúdo mais popular continua recebendo requisições a taxa próxima a 1, enquanto que os demais conteúdos tem suas taxas de requisições substancialmente diminuídas.

5.2. Caches TTL com reset

Nesta seção, consideramos caches TTL com reset. Neste caso, aplicando (4) em (15), temos que

$$\varphi_i(\lambda_i) = 1 - e^{-\lambda_i T_i} \quad (29)$$

onde assumimos que os T_i , $i = 1, \dots, N$, são dados e fixos. Neste caso, o Lagrangiano é dado por

$$\mathcal{L}(\lambda, \tilde{\lambda}, \beta) = \sum_{i=1}^N (\lambda_i - \tilde{\lambda}_i)^2 - \beta \left(\sum_{i=1}^N 1 - e^{-\lambda_i T_i} - B \right) \quad (30)$$

Derivando o Lagrangiano com relação a λ_i e igualando o resultado a zero, obtemos

$$\lambda_i = 1 + \frac{W(T_i^2 \beta e^{-T_i \tilde{\lambda}_i})}{T_i} \quad (31)$$

$$\sum_{i=1}^N 1 - e^{-\lambda_i T_i} = B \quad (32)$$

onde $W(x)$ é a função W de Lambert, tal que $w = W(x)$ se $w e^{-w} = x$. A função W de Lambert não admite expressão analítica. Dados os valores de T_i , $\tilde{\lambda}_i$, para $i = 1, \dots, N$, e B , o valor de β que resolve o problema (31)-(32) nesse caso precisa ser obtida numericamente, por exemplo, usando um algoritmo de ponto fixo.

5.3. Caches TTL sem reset

Consideremos agora caches TTL sem reset. Neste caso, aplicando (5) em (15), temos que

$$\varphi_i(\lambda_i) = \frac{\lambda_i T_i}{1 + \lambda_i T_i} \quad (33)$$

Neste caso, pode-se escrever o Lagrangiano (24) de forma análoga a realizada nas últimas duas seções. Entretanto, ao derivarmos o Lagrangiano com relação a λ_i não fomos capazes de derivar uma expressão simples para λ_i , e acreditamos que o problema neste caso não admite solução em fórmula fechada.

6. Parametrizando Modelos com MovieLens

Nesta seção, ilustramos os benefícios do sistema de recomendação no desempenho de caches usando dados reais, advindos do *trace* MovieLens [Miller et al., 2003]. Os resultados preliminares aqui apresentados servem para ilustrar como que, em um sistema real, o sistema de recomendação pode beneficiar a taxa de *hits* (*hit rate*). Consideramos um *dataset* com 100,000 avaliações de 1,000 usuários a $N=1,700$ filmes.

O MovieLens é uma plataforma de recomendação de filmes, onde os usuários avaliam os filmes assistidos com notas (de 1 a 5 estrelas, na escala Likert). Usamos este *trace* para parametrizar a demanda original a cada filme i , que denotamos por Λ_i , e a demanda perturbada pelo sistema de recomendação, que denotamos por $\tilde{\lambda}_i$. Em seguida, comparamos o *hit rate* a uma cache alimentada pela demanda original e pela demanda perturbada, e verificamos que de fato a perturbação sugerida a seguir melhora o desempenho do sistema.

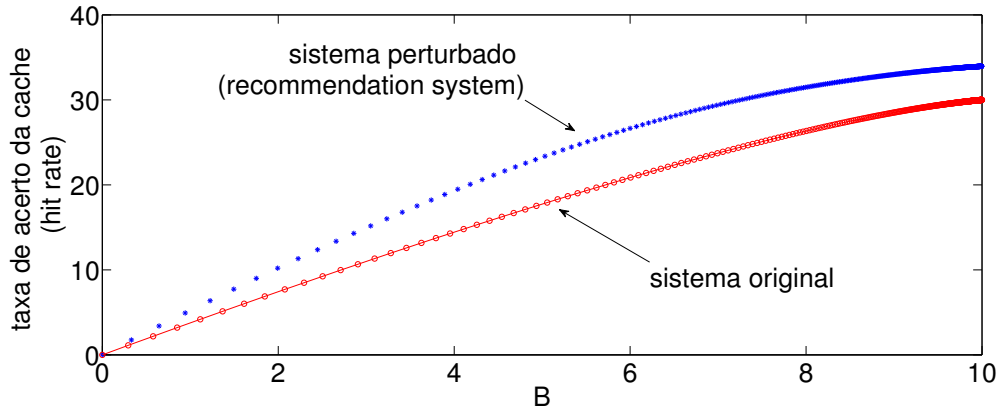


Figura 3. Desempenho da cache é aumentado com sistema de recomendação (curva azul) em comparação com sem recomendação (curva vermelha).

Usamos uma notação similar a aquela proposta em [Munaro et al., 2015]. Seja $n_{u,i}$ a nota que o usuário u deu ao filme i . Seja $n_{u,k,i}$ a nota que o usuário u deu ao filme i , quando o usuário previamente assistiu ao filme k . Seja m_k o número de notas dadas ao filme k , e seja $m_{k,i}$ o número de notas dadas ao filme i por usuários que previamente assistiram o filme k . Seja $I_{u,i}$ (resp., $I_{u,k,i}$) uma variável indicadoras, igual a 1 se $n_{u,i} \geq 3$ (resp., $n_{u,k,i} \geq 3$), e 0 caso contrário.

Recordamos que Λ_k é a popularidade do filme k . Assumindo que um usuário só avalia um filme que ele tenha assistido, parametrizamos Λ_k a partir de m_k da seguinte forma,

$$\Lambda_k = \frac{m_k}{\sum_{k=1}^N m_k} \quad (34)$$

Construímos então uma matriz C de correlação entre filmes, cujo elemento $c_{i,j}$ determina a probabilidade do sistema de recomendação indicar o filme j a um usuário que assistiu o filme i . Neste trabalho, assumimos que $c_{i,j}$ é dado por

$$c_{i,j} = \frac{\sum_{\forall u} I_{u,i,j}}{\sum_{\forall u} \sum_{l=1}^N I_{u,i,l}} \quad (35)$$

A equação acima captura o fato de que o sistema de recomendação procura recomendar o filme j para um usuário que assistiu i caso previamente usuários que tenham assistido i tenham avaliado bem o filme j .

Parametrizamos então a taxa de requisições ao conteúdo k , perturbada pelo sistema de recomendação, como

$$\tilde{\lambda}_k = \sum_{j=1}^N \Lambda_j c_{j,k} \quad (36)$$

Usamos os resultados apresentados na Seção 3.5 para calcular o *hit rate* associado às demandas originais e modificadas pelo sistema de recomendação. Variamos a ocupação média do buffer B , e apresentamos o *hit rate* da cache em função de B na Figura 3 (resultados numéricos adicionais encontram-se no relatório técnico, disponível em <https://tinyurl.com/recwperfl7>). O uso do sistema de recomendação

aumenta significativamente o desempenho (*hit rate*) da cache. Isto deve-se ao fato de que, com o sistema de recomendação considerado, a curva de demanda torna-se mais enviesada, favorecendo os filmes mais populares e em consequência aumentando a disponibilidade dos conteúdos mais requisitados.

Nesta seção, assumimos que o sistema de recomendação leva em conta apenas a natureza dos conteúdos, e que não ele não é influenciado pelo desempenho das caches. Por isso, focamos nas taxas Λ_i e $\tilde{\lambda}_i$, e não na parametrização de λ_i (vide Tabela 1). É interessante observar que, mesmo sem levar em conta explicitamente o desempenho das caches, o sistema de recomendação já impacta positivamente o desempenho das mesmas. Com a recomendação estratégica de conteúdo, levando em conta o desempenho das caches, vislumbramos que o desempenho do sistema possa ser melhorado sem diminuir a satisfação dos usuários com relação a natureza do conteúdo sugerido, e deixamos a análise empírica dessa constatação como assunto para trabalhos futuros.

7. Trabalhos Relacionados

A literatura sobre o impacto de sistemas de recomendação no desempenho de caches ainda é escassa, mas está rapidamente crescendo [Verhoeyen et al., 2012, Krishnappa et al., 2015, Chatzieftheriou et al., 2017, Sermpezis et al., 2017].

Os primeiros a considerarem a possibilidade de configurar os sistemas de caching em função dos sistemas de recomendação foram [Verhoeyen et al., 2012]. Os autores usaram-se de simulações para mostrar as potenciais vantagens de se combinar decisões de caching e de recomendação de conteúdo. No presente trabalho, em contrapartida, usamos o mecanismo de caching para perturbar o sistema de recomendação, e consequentemente a demanda dos usuários.

Em [Munaro et al., 2015] os autores estudam como sistemas de recomendação afetam o desempenho de sistemas par-a-par. Em sistemas par-a-par, quanto maior a demanda por um certo conteúdo, maior o grau de colaboração entre os pares, e menores os custos para o servidor. Similarmente, quanto maior a demanda por conteúdos populares em um sistema de cache, maior o número de *hits*. Embora existam semelhanças entre os dois trabalhos, as funções de custo e utilidade a serem maximizadas são distintas, dadas as diferenças entre sistemas de cache e sistemas par-a-par.

Recentemente, em [Chatzieftheriou et al., 2017, Sermpezis et al., 2017] os autores propõem o estudo da relação entre sistemas de recomendação e caches. Embora a motivação de [Chatzieftheriou et al., 2017, Sermpezis et al., 2017] seja similar a deste trabalho, a metodologia adotada é distinta. Em [Chatzieftheriou et al., 2017, Sermpezis et al., 2017] os autores consideram uma métrica de distorção do sistema de recomendação distinta daquela considerada neste trabalho, e no presente trabalho consideramos o uso de TTLs ou RCs como modelo para caches, enquanto que os autores de [Chatzieftheriou et al., 2017] consideram caches LRU.

Em [Krishnappa et al., 2015] os autores estudam os efeitos do sistema de recomendação no desempenho do Youtube, e usam dados reais para avaliar diferentes políticas de recomendação. No presente trabalho, em contrapartida, consideramos modelos analíticos para estudar os desafios em questão. Na linha de trabalhos analíticos que visam melhor compreender o funcionamento de redes de cache, destacamos [Kaafar et al., 2013, Adomavicius et al., 2012, Dernbach et al., 2016,

Leconte et al., 2016, Gill et al., 2007]. Embora todos estes trabalhos tenham como extensão natural o estudo da relação entre sistemas de recomendação e o desempenho de caches, nenhum considerou a demanda dos usuários como sendo a variável de controle.

8. Conclusão

Sistemas de recomendação [Gomez-Uribe e Hunt, 2016] e caches [Nygren et al., 2010] afetam milhões de usuários diariamente na Internet. Estas duas componentes tem papéis complementares no atendimento ao usuário que acessa um conteúdo: uma influencia a demanda, e a outra, influencia o atendimento dessa demanda. Fica evidente então a necessidade de melhor compreender as relações entre estas áreas, de forma a tornar possível explorar conjuntamente o potencial de ambas no atendimento ao usuário tanto no sentido de lhe prover o conteúdo mais adequado ao seu interesse, quanto a que o conteúdo seja provido de forma rápida e com boa qualidade.

Neste artigo, propomos modelos e problemas de otimização para melhor compreender a relação entre sistemas de recomendação e o desempenho de algoritmos de caching. Estendendo o *framework* de otimização proposto em [Dehghan et al., 2016], consideramos a demanda por conteúdo como sendo uma variável elástica. O papel do algoritmo de recomendação passa a ser o de controlar a demanda, de forma a melhorar os desempenho das caches, mas sem comprometer os gostos dos usuários. Mostramos que algumas instâncias do problema proposto admitem solução simples em fórmula fechada, enquanto que outras requerem solução numérica. Finalmente, apresentamos resultados preliminares usando *traces* do Movielens.

Consideramos que nosso trabalho é um passo para uma melhor compreensão as implicações mútuas da recomendação e dos algoritmos de caching, o que acreditamos ser uma frente a ser explorada no sentido de beneficiar provedores e consumidores de conteúdo, dado o potencial de aumento da QoS e também da QoE no longo prazo. Como trabalhos futuros, pretendemos avaliar experimentalmente como variações da QoE impactam as preferências do usuário, bem como incorporar no modelo a probabilidade de um usuário aceitar a recomendação oferecida pelo sistema, levando em conta que esta não é a recomendação original baseada apenas no desejo do usuário pelo conteúdo.

Referências

- Adomavicius, G., Bockstedt, J., Curley, S. P., e Zhang, J. (2012). Effects of online recommendations on consumers' willingness to pay. In *Decisions@ RecSys*, pages 40–45.
- Amazon, E. (2015). Amazon web services. Available in: <http://aws.amazon.com/es/ec2/>(November 2012).
- Boyd, S. e Vandenberghe, L. (2004). *Convex optimization*. Cambridge university press.
- Chatzieftheriou, L. E., Karaliopoulos, M., e Koutsopo, I. (2017). Caching-aware recommendations: Nudging user preferences towards better caching performance. In *INFOCOM*.
- Che, H., Tung, Y., e Wang, Z. (2009). Hierarchical web caching systems: Modeling, design and experimental results. In *JSAC*.
- Dehghan, M., Massoulie, L., Towsley, D., Menasche, D., e Tay, Y. (2016). A utility optimization approach to network cache design. In *INFOCOM*.

- Dernbach, S., Taft, N., Kurose, J., Weinsberg, U., Diot, C., e Ashkan, A. (2016). Cache content-selection policies for streaming video services. In *INFOCOM*, pages 1–9.
- Domingues, G., e Silva, E. d. S., Leão, R. M., Menasché, D. S., e Towsley, D. (2017). Enabling opportunistic search and placement in cache networks. *Computer Networks*, 119:17–34.
- Domingues, G., Leao, R. M., Menasche, D. S., et al. (2015). Flexible content placement in cache networks using reinforced counters. *arXiv preprint arXiv:1501.03446*.
- Fagin, R. (1977). Asymptotic miss ratios over independent references. *Journal of Computer and System Sciences*, 14(2):222–250.
- Fofack, N. C., Dehghan, M., Towsley, D., Badov, M., e Goeckel, D. L. (2014). On the performance of general cache networks. In *VALUETOOLS*, pages 106–113.
- Gill, P., Arlitt, M., Li, Z., e Mahanti, A. (2007). Youtube traffic characterization: a view from the edge. In *Proceedings of the 7th ACM SIGCOMM conference on Internet measurement*, pages 15–28. ACM.
- Gomez-Uribe, C. A. e Hunt, N. (2016). The netflix recommender system: Algorithms, business value, and innovation. *ACM Transactions on Management Information Systems (TMIS)*, 6(4):13.
- Kaafar, M. A., Berkovsky, S., e Donnet, B. (2013). On the potential of recommendation technologies for efficient content delivery networks. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 43(3):74–77.
- Krishnappa, D. K., Zink, M., Griwodz, C., e Halvorsen, P. (2015). Cache-centric video recommendation: an approach to improve the efficiency of youtube caches. *ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications (TOMM)*, 11(4):48.
- Leconte, M., Paschos, G., Gkatzikis, L., Draief, M., Vassilaras, S., e Chouvardas, S. (2016). Placing dynamic content in caches with small population. In *INFOCOM*, pages 1–9.
- Miller, B. N., Albert, I., Lam, S. K., Konstan, J. A., e Riedl, J. (2003). Movielens unplugged: experiences with an occasionally connected recommender system. In *Proc. of the 8th international conference on Intelligent user interfaces*, pages 263–266. ACM.
- Munaro, D., Delgado, C., e Menasché, D. S. (2015). Content recommendation and service costs in swarming systems. In *ICC*, pages 5878–5883. IEEE.
- Nygren, E., Sitaraman, R. K., e Sun, J. (2010). The akamai network: a platform for high-performance internet applications. *Operating Systems Review*, 44(3):2–19.
- Sermpezis, P., Spyropoulos, T., Vigneri, L., e Giannakas, T. (2017). Femto-caching with soft cache hits: Improving performance through recommendation and delivery of related content. *arXiv preprint arXiv:1702.04943*.
- Turnbull, D. (2017). High-quality recommendation systems with elastic search. <https://dzone.com/articles/high-quality-recommendation-systems-with-elastic-2>.
- Verhoeyen, M., Vriendt, J. D., e Vleeschauwer, D. D. (2012). Optimizing for video storage networking with recommender systems. *Bell Labs Tech.*, 16(4):97–113.

Analysis of GPU Power Consumption Using Internal Sensors

Mariza Ferro¹, André Yokoyama¹, Vinicius Klôh¹, Gabrieli Silva¹, Rodrigo Gandra²,
Ricardo Bragança², Andre Bulcão², Bruno Schulze¹

¹Laboratório Nacional de Computação Científica (LNCC)
Getúlio Vargas, 333, Quitandinha – Petrópolis – Rio de Janeiro

{mariza, andreymy, viniciusk, gabrieli, schulze}@lncc.br

²Centro de Pesquisa da Petrobras - CENPES
Petróleo Brasileiro S.A. - PETROBRAS

{rodrigo.gandra, rbraganca, bulcao}@petrobras.com.br

Abstract. GPUs has been widely used in scientific computing, as by offering exceptional performance as by power-efficient hardware. Its position established in high-performance and scientific computing communities has increased the urgency of understanding the power cost of GPU usage in accurate measurements. For this, the use of internal sensors are extremely important. In this work, we employ the GPU sensors to obtain high-resolution power profiles of real and benchmark applications. We wrote our own tools to query the sensors of two NVIDIA GPUs from different generations and compare the accuracy of them. Also, we compare the power profile of GPU with CPU using IPMItool.

1. Introduction

Scientific computing generally requires huge processing power resources' to perform large scale experiments and simulations in reasonable time. These demands have been addressed by High Performance Computing (HPC), allowing many scientific domains to leverage progress. The design of high performance supercomputers is on the boundary of constant and significant changes. With the arrival of petascale computing in 2008, we see another potential paradigm shift in the construction of parallel computing and the use of hybrid designs employing heterogeneous computational accelerators. In these designs, specialized hardware devices such as graphics processing units (GPUs), dense multi-core processor, MIC and FPGAs have been widely used for HPC applications due to their extremely high computational powers [Mittal and Vetter 2014].

However, despite the impressive theoretical peak performance of petascale supercomputers, several areas require more computational power, like the exascale supercomputers expected for the coming decade. For example, in the energy industry simulations, for different energy sources like wind energy, efficient combustion systems for biomass and exploration geophysics in the oil and gas industry. For the latter, seismic applications, as used in this work, are targets of this type of processing [Menezes et al. 2012]. But, it is expected that to achieve exascale will require a nearly 30-fold increase in performance with only a 1.2-fold increase in power consumption [Adhinarayanan et al. 2016].

GPUs have become prevalent in HPC, as by offer exceptional performance, especially for scientific applications highly parallelizable, like seismic applications, as by power-efficient hardware. The position GPUs have established in high-performance and

scientific computing communities has increased the urgency of understanding the power cost of GPU usage [Bridges et al. 2016] [Adhinarayanan et al. 2016].

To attempt this urgency, the use of internal power sensors for more accuracy power and energy measuring is a current area of research. But, this is not trivial, since the documentation on these sensors is scarce. So, understand exactly how to obtain power, and other measures of performance, for the GPU board is unclear. In addition, as GPUs continue to evolve, understanding their power and performance profiles on real applications is increasingly difficult [Bridges et al. 2016].

In this work we performed experiments on two high-end NVIDIA GPUs from different generations and collect data from its internal sensors. We wrote our own tools to query the sensors that enable a high-resolution power profiles of GPU kernel functions and low overhead. We compare the accuracy of profiles via the NVIDIA Management Library (NVML) [NVIDIA 2012] or IPMItool. Also, we compare the power profile of GPU with CPU using IPMItool for a deeper understanding. The experiments were conducted through either a benchmark from Rodinia [Che et al. 2009] and a real application of seismic area, used by the Brazilian Oil Company (Petrobras). Understand the behavior of this application and its relation with the energy consumption are among the objectives of the HPC4E project ¹, where this work is inserted.

2. Background and Related Work

In this section, we present some background about approaches for monitoring systems and power measurement in GPUs. The discussion of these concepts could be very broad, however, we will only discuss some concepts that are closely related to this research, as well, related works only focused on GPUs.

Power consumption of computer components can be obtained either for directly or indirectly methods. Directly measurements could be made via internal or external hardware sensors which periodically collect samples to estimate the power used during a time interval [Bridges et al. 2016]. An estimate of total energy is calculated as the integral of the power over the execution time [Burtscher et al. 2014]. External power meters are connected between the power supply unit and a component under investigation [Bridges et al. 2016]. Internal power meters are obtained directly from built-in sensors, allowing users convenient access to power data via profiling software by sampling.

According to [Bridges et al. 2016], directly measuring power via internal or external hardware sensors is considered the most accurate source of power consumption information. However, external power meters are generally not suitable for comprehensive power profiling, giving not accurate readings, especially in HPC settings. Internal sensors, when available, can be used for more accurate measurement. Besides accuracy, another advantages are that any expensive extra hardware is no need and allow component level profiling. However, not all hardware has these internal sensors and when there is, there is no standard feature nor consistency in accuracy across different hardwares. So, in some cases there is a need, especially in the HPC industry, for indirect methods [Bridges et al. 2016].

Indirect measurements cover modeling and simulation techniques for power and

¹<http://www.hpc4e.eu/>

performance estimation. The modeling approach estimates the power consumption using a model that correlates power with hardware performance counters. A great number of works in the area of energy efficiency are focused on using models to estimate power consumption [Burtscher et al. 2014]. Some limitations to counter-based models are that the number and type of counters available being not uniform across hardware. So, there is a great variety of ways for accessing and visualizing hardware counter data but, the models generally are hardware dependent. Example of hardware monitoring software is the suite of profiling tools offered by NVIDIA that enable capabilities for accessing, visualizing, optimizing, monitoring and profiling applications and GPU hardware [NVIDIA 2012].

2.1. Related Works

Some researches in this area focuses on indirectly methods using models to estimate the power consumption. The work of [Adhinarayanan et al. 2016] proposes an application-dependent modeling technique, where the model is constructed online at runtime, based on the readings from the built-in GPU power meter. Wang analyzes the power consumption of the main functional units in GPU using a power simulator and shows that traditional power optimization methods for CPUs, such as dynamic frequency scaling and concurrency-throttling, could be effectively applied on GPU architectures for better power efficiency [Wang 2010]. The work of [Karami et al. 2013] uses the values of GPU performance counters and then applies a regression model and principle component analysis to build a power consumption and performance prediction model of OpenCL kernels.

There are many works that investigate the Dynamic Voltage and Frequency Scaling (DVFS), i.e., changing the processor voltage/frequency during task processing for saving energy. A number of works with this approach are analysed in the survey of [Mei et al. 2016], which also proposes a GPU DVFS runtime power modeling. The work of [Ge et al. 2013] studies the impacts of DVFS on application performance and energy efficiency for GPU computing and comparing them with those of DVFS for CPU computing. They conclude that the effects of DVFS on GPUs differ from on CPUs.

Another approach is modeling power and performance by using indirect methods and then evaluate the error of the model by means of the direct measurements from the internal sensors, which are more accurate. This kind of approach should be used when the access to internal sensors is not allowed [Kasichayanula et al. 2012].

By using external sensor, the work of [Lee and Kim 2015] made an empirical characterization of power efficiency. They measured the energy consumption using a digital multimeter, obtaining the power consumption of the entire system and providing the performance and power characterization of CPUs and GPUs.

Researches using internal sensor are similar to our study. In [Burtscher et al. 2014] they propose a methodology to compute the instant power and energy consumption of K20 GPUs. The work of [Coplin and Burtscher 2016] also uses the internal sensors (K20 GPU) for measurements. They study the effects on energy consumption, power draw and runtime when changing the core and memory clock frequencies, enabling or disabling ECC, using alternate implementations, and varying the program inputs. These works are similar to ours, in the sense that they developed its own application to query built-in sensors using NVIDIA NVML. But, the analyses are focused on the power (w) and energy for the tested kernels and for one generation

of GPUs, while in ours the analyses included temperature and performance parameters. Also, we compare the behavior of two generations of GPUs with two different GPU's sensor and compare them with the CPU power profile.

In Section 3 we present some management and monitoring tools that use the method of direct measurements via internal hardware and how we use them to develop our way for power measurements.

3. Power Measuring Approach

For each GPU model the sensor is different and enables a kind of measurement, accuracy and requires an approach to collect the data from sensors. In this work, as mentioned, we employ the GPU power sensors to obtain the energy consumption of the tested applications. We wrote our own tools to query the sensors, via the IPMItool for Tesla M2050 and NVML interface for Tesla K40, which implement a direct method by sampling monitoring approach. This kind of method periodically collect samples of the parameters. The power is obtained directly from sensors, and the total energy is calculated as the integral of the power over the execution time.

The Intelligent Platform Management Interface (IPMI) is a standard interface for hardware management used by system administrators to control the devices and monitor the sensors. For these, it is necessary the IPMI Controller called Baseboard Management Controller (BMC) and a manager software (for example, IPMItool²). It provides an interface to manage IPMI functions in a local (in-band) or remote (out-of-band) system.

We are using the IPMI, in-band, to monitor the temperature and power consumption sensors by sampling methodology (both for CPU and GPU Tesla M2050). The IPMI Controller is used to identify how the application influences power consumption and increases the temperature. The driver included in our architecture is the OpenIPMI Linux Kernel Driver (`/dev/ipmi0`) and the manager software adopted was IPMItool³. To collect these parameters, we are using with a sudo user following command: `$ ipmitool dcmi power reading`

To use the IPMItool with the above command and to select the desired parameters (power and temperature), we developed a Shell-based tool to collect CPU data. This tool also collects the CPU and Memory utilization rates through the Linux's Top utility. Since the tool runs in parallel with the monitors application, competing for the same CPU resources, there is an overhead in this usage. This overhead was measured to be about 2.5% of CPU utilization rate. To collect Tesla M2050 GPU data we developed only a Shell monitoring script that queries the sensor readings, using IPMItool commands.

The NVIDIA profiling tools and APIs can be used to monitor and manage states of the NVIDIA GPU devices. The NVIDIA Management Library (NVML) [NVIDIA 2012] is an API, based on C language, for monitoring and managing states of NVIDIA GPU devices, such as GPU utilization rate, running process, clock and performance state, temperature and fan speed, power consumption and power management. The `nvmlDeviceGetPowerUsage` function retrieves the power usage reading for the device, in milliwatts, with an error of ± 5 watts. This is the power draw for the entire board,

²<https://www.kernel.org/doc/Documentation/IPMI.txt>

³<https://docs.oracle.com/cd/E19464-01/820-6850-11/IPMItool.html>

including GPU, memory, among others [Kasichayanula et al. 2012].

The NVIDIA System Management Interface (NVSMI) ⁴ is a command line program that allows the system administrators to query, with appropriate privileges, states of the GPU devices. Its functions are provided by the NVML library. By using the NVSMI it is possible to collect some of the same parameters as those obtained with our tool and with the sampling approach. However, when using NVSMI a much wider range of parameters is collected, which could result in overhead. In addition, since NVSMI is a high level utility, the rate of sampling power usage is very low (1 Hz). Such sampling rate might not be enough to notice the change in power, unless the kernel is running for a very long time.

For these reasons, we developed a CUDA C-based tool, using the NVML functions, to collect only the following parameters: Device name, Memory (Free, Used, Total), Utilization Rate (Memory, GPU), Power Consumption (W) and Temperature (C). In addition, this tool uses two threads: one thread responsible for launching, on GPU devices, the application to be monitored and another thread to collect by sampling, those parameters. So, an important feature of this tool is related to overhead, since the second thread only runs on CPUs, which does not impact the execution of the application on GPUs, the overhead is almost zero.

This NVML based monitoring application was developed with the intent of maximizing the sampling rate in order to increase the accuracy of the measurements, particularly for applications with small kernels. For this purpose the monitoring application only queries for the necessary parameters and the sampling rate is not fixed at a preset value. During the tests we observed a sampling rate of about 500 Hz, which provided some good measurements for the application used during the tests. This measurements, as well as the details of the methodology used to collect them, will be presented in the next section.

4. Experimental Evaluation

In this section we present the experiments with focus on the measurements obtained from GPU sensors and discuss some results about that.

4.1. Experimental Setup

Our hardware platforms include two high-end NVIDIA GPUs from different generations, described in Table 1 and one CPU x5650 Intel(R) Xeon with 23 GB of memory, 32 GB/s of memory bandwidth and 12 cores at 2.66 GHz. The Tesla K40 is used in Santos Dumont Supercomputer ⁵ (SDumont) and GPU Tesla M2050 and CPU Intel Xeon are used in our cluster (ComCiDis).

The main application used in the experiments is an acoustic test implemented by Petrobras and part of the HPC4E Project. This is a *3D Wave Propagation* which simulates the propagation of a single wavelet over time by solving the acoustic wave propagation equation. This equation is solved by using finite differences that have a high degree of parallelization, given the interdependence between the data [Menezes et al. 2012]. The program was written in standard C and CUDA and spreads computation over a single

⁴<https://developer.nvidia.com/nvidia-system-management-interface>.

⁵<http://sdumont.lncc.br/machine.php?pg=machine>

	Tesla M2050	Tesla K40
Processor	GF100	GK110B
Memory (ECC off) (GB)	3	12
Memory bandwidth (ECC off) (GB/s)	148	288
Clock (GHz)	1,546	3,0
Core	448	2880
GPU clock (MHz)	1150	745 (875MHz boosted)
TDP (Watts)	225	235
GFLOPS single precision	1030	4291-5040
GFLOPS double precision	515	1430-1680

Table 1. GPU models used in the experiments.

CPU and a single GPU. For the experiments with *3D Wave Propagation* were used different input sizes, described in Table 2. The Size ID corresponds to different sizes of the problem, which represents the discretization of the domain on a 3D grid. The X, Y and Z correspond to the size of the problem on the three axis and the MB line is the size of memory used for each group of the input size problem.

	Size ID											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
X	128	256	256	256	256	256	512	512	768	768	1024	512
Y	128	256	256	512	256	256	512	512	768	768	1024	512
Z	128	256	512	512	1024	2048	512	1024	768	1024	704	2832
MB	32	256	512	1024	1024	2048	2048	4096	6912	9216	11266	11328

Table 2. Input sizes used in experiments with 3D Wave Propagation.

In some experiments, particularly to compare CPU and GPU measurements with IPMItool, we used the LUD benchmark from Rodinia [Che et al. 2009]. We choose this kernel to perform a set of experiments with more controlled results and also that could be executed in both GPU (CUDA version) and CPU (OpenMP). LUD is an algorithm to calculate the solutions of a set of linear equations that decomposes a matrix as the product of a lower triangular matrix and an upper triangular matrix to achieve a triangular form that can be used to solve a system of linear equations easily. In this work, we presented results for matrix size of 16384.

4.2. Methodology

Since the IPMItool requires *sudo* permission it was used only on our own cluster (Com-CiDis). It was the only way to get power and temperature reading for the Tesla M2050, since it doesn't have the built-in sensors. The measurement data are collected using a shell script that repeatedly queries the sensor readings, using the IPMItools commands, until it is stopped by a "Ctrl+C" termination input. The output of the queries are written in an output file. To collect the data, the monitoring script is launched 30 seconds before the application to be monitored. This 'padding' allows us to establish the baseline of power drain when only the monitoring script is running, and by querying the sensors manually. We can get the idle power drain⁶ when no application is running. This information allows us to estimate the real energy consumed by the application by removing the overhead (in

⁶We named power drain the amount of power been consumed by the system.

power drain) caused by the monitoring script. The experiments performed on ComCidis cluster with CPU, followed the same methodology to collect the data.

For the experiments on SDumont, only NVML based monitoring application was used, since we don't have *sudo* permission to use IPMItool. K40 has built-in sensors, that no need *sudo* for temperature and power readings. These sensors have a higher precision than those read by the IPMItool and we can get a much more accurate amount of energy. Nevertheless, as we can't use the IPMItool, we are unable to get the total energy consumed by the entire computing node.

As mentioned in Section 3, the NVML based monitoring application uses 2 threads, the first one queries the sensors of all GPUs installed in the computing node and write the readings in an output file, the second thread is responsible for launching the application that's been evaluated, it is also responsible for signaling the monitoring thread to stop collecting data. The monitoring thread starts collecting data as soon as it is launched and only stops when signaled by the second thread. This thread starts the application 30 seconds after the monitoring thread starts, and signal the stop 30 seconds after the end application. This 30 seconds padding allows us to establish a baseline consumption while all the GPUs in the node are in the idle state.

4.3. Results on GPUs

In this section we present and discuss results of the experiments highlighting some aspects of power profiles obtained from internal sensors. The results were obtained using the NVML based monitoring application for SDumont and IPMItool, while running the *3D Wave Propagation application*.

In the graphs of Figures 1 - 4 are presented the results for problem sizes A and G, performed both in SDumont as in ComCiDis. In Figure 5 are presented the results for problem size L, only in SDumont. It was too large to execute in ComCiDis, since this application requires the entire problem to be loaded to the GPU memory and problem size L uses about 11.2 GB, which is too large for the 2.65 GB of the ComCiDis' Tesla M2050. The largest size to fit in a single Tesla M2050 is the problem size G.

The parameters collected and presented in Figures 1, 3 and 5, are the memory and GPUs usage, power and temperature, for each device (device 0 and 1). In Figures 2 and 4, due the IPMItool limitation, there are only the temperatures of each CPU (CPU1 Temp, CPU2 Temp) and GPU (GPU1 Temp, GPU2 Temp) and Power.

The power levels collected by the monitoring application are the individual power levels for each GPU with a sampling rate around 500 Hz, while the IPMItool collects the total power used by the whole computing node with a rate between 1 and 3 Hz. These differences in how to collect the results by each tool can be compared by results presented in the pairs of Figures 1-2 and 3-4. It is possible to note how the difference in the sampling rate drastically affects the resolution and precision of the results.

Figures display the power profiles obtained when sampling the GPUs before, during and after the execution of the application. In Figure 1, T_0 indicates when the monitoring application starts to collect data. At this time, Slurm is still finishing the startup of the computing node, some activity can still be seen in device 1 (GPU Usage 1) and the power levels for both GPUs are still high, as they are in a ready state. In time T_1 ,

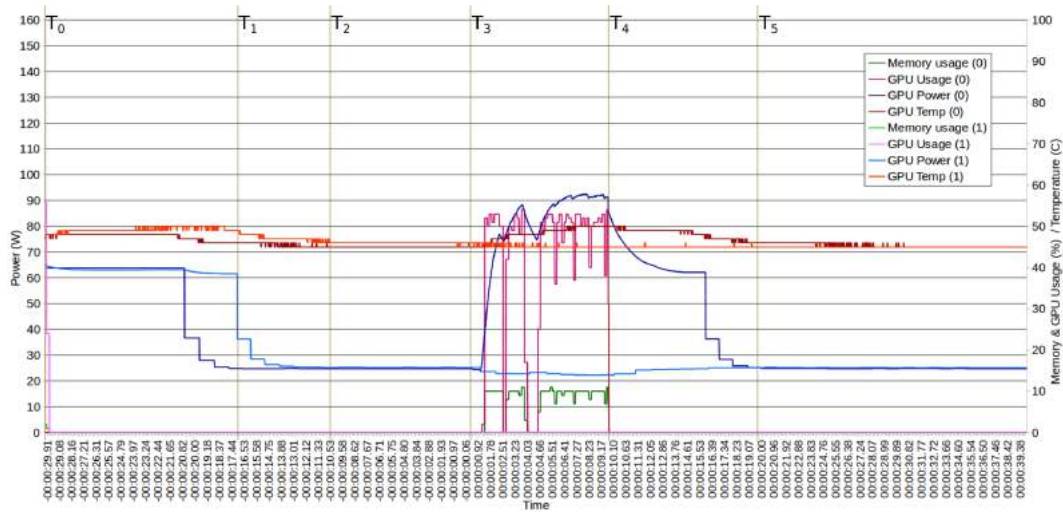


Figure 1. Results for problem size A on SDumont collected by the NVML based monitoring application.

both GPUs are now in idle state and the power levels drop. In T_2 the power levels and temperature stabilize with the GPU in idle state. In T_3 and T_4 the application starts and finishes, respectively. From T_4 , the power levels decrease slowly and stabilise at a ready state level. This happens because the GPUs are kept in the ready state for a few seconds after an application ends, so in case a new application is launched the overhead of starting the GPUs from the idle state is avoided. Finally, in T_5 the power levels stabilise at idle state.

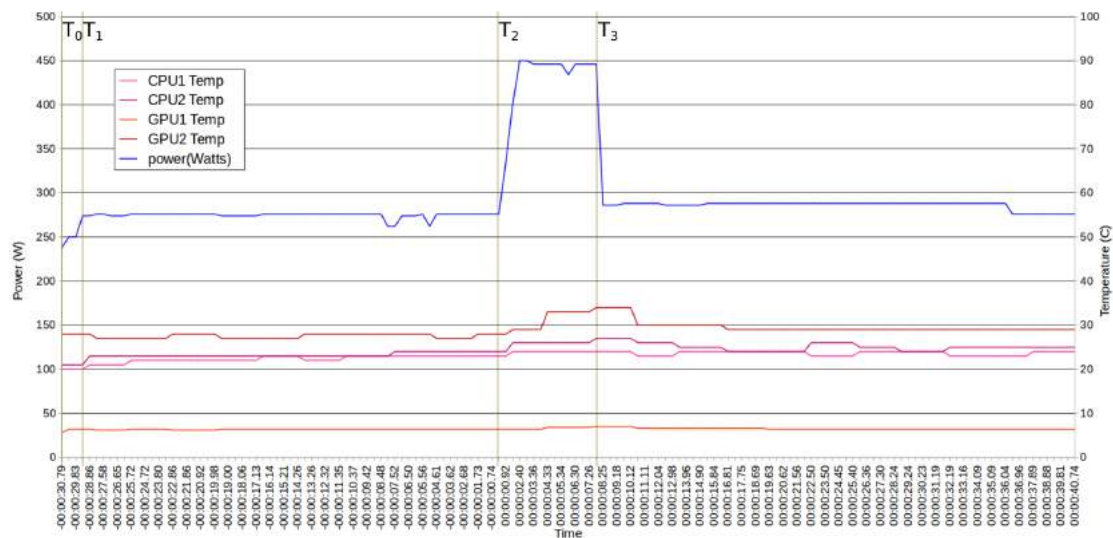


Figure 2. Results for the problem size A on ComCiDis Cluster collected by the IPMITool application.

In Figure 2, the monitoring script starts on T_0 . Due to the low refresh rate of the sensors, the first reading shows the power levels from before the script start, when the computing node was idle. In T_1 the power readings stabilise reflecting the power drain of the monitoring script. In T_2 and T_3 the application starts and finishes, respectively.

Figures 1 and 2 display the results with the problem size A for SDumont and

ComCiDis. The average time to complete the process in SDumont was 9.5 seconds while for the ComCiDis it was 7.9 seconds. The average power drained by both GPUs was about 290 W and the energy-to-solution was 2,291 J. The power drain by both GPUs in SDumont was less than 115 W, with an energy-to-solution of 1,092 J.

Problem size A was a very small problem and doesn't provide us enough data for a more detailed analysis of the power profile of the applications. But, as we move to the G size, it gives us a clearer view of the behavior of the application as well as the impact of the sampling rate of the two methods used in the data collection.

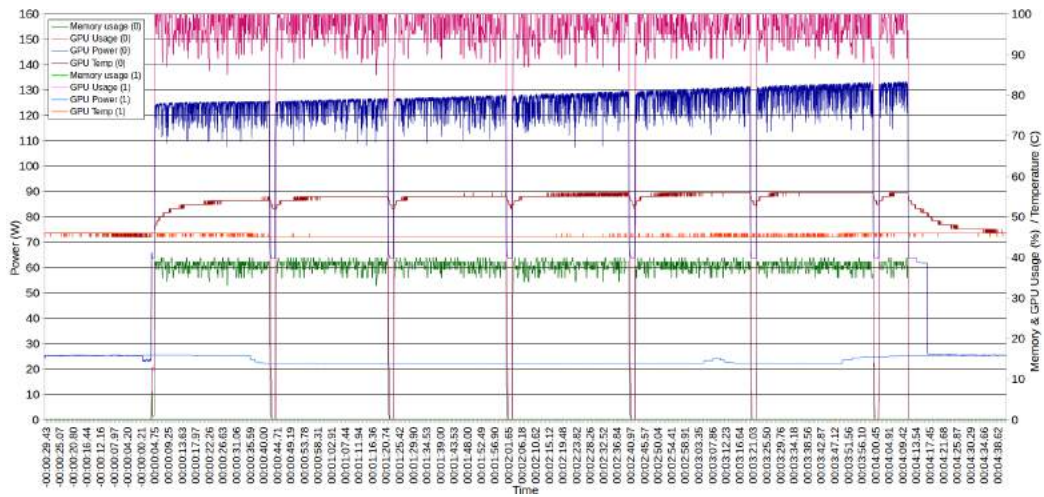


Figure 3. Results for problem size G on SDumont collected by the NVML based monitoring application.

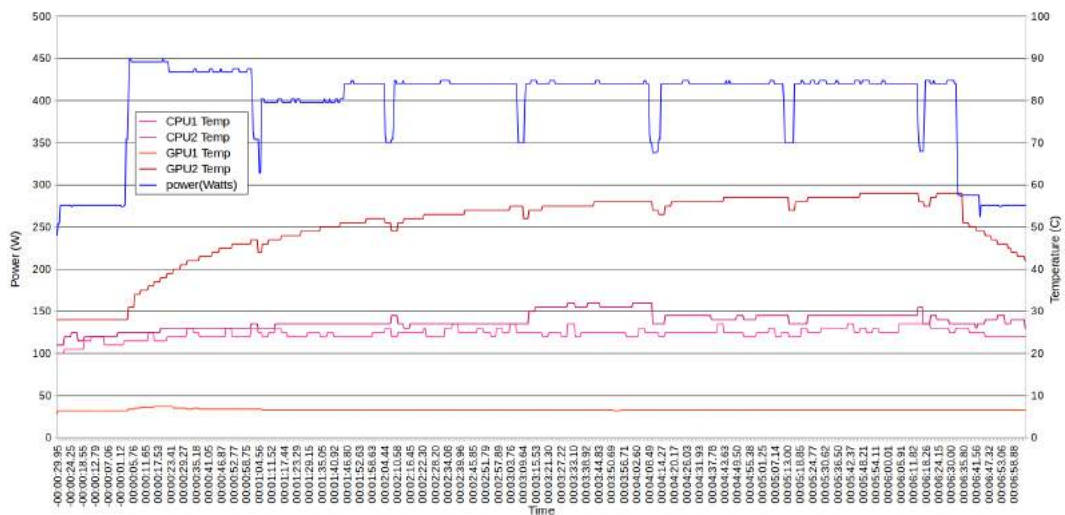


Figure 4. Results for problem size G on the ComCiDis collected by the IPMITool application.

Figures 3 and 4 display the results for the problem size G on SDumont and ComCiDis. The average time for this size in SDumont was 4 minutes and 12 seconds, consuming 36802 J (30,520 J of the computing GPU and 6,281 J of the idle GPU). For the ComCiDis it was 6 minutes and 32 seconds, more than 1.5 times longer and consuming

101703 J (2.76 times more than SDumont's K40). The peak of the power drain observed in the ComCiDis by GPUs was of 290 W, but it stays at 250 W most of the time. For SDumont the peak was about 160 W for the two GPUs together (134 W for de GPU when it was processing and 26 W for the GPU idle).

In Figure 3 we can observe a high level of fluctuation on the power readings (GPU Power 0). In this graph it is possible to see, particularly looking at the GPU and memory usage for the running device (Memory usage 0 and GPU Usage 0), that the pattern of increase and decrease in usage matches that of the power readings, with only the power reading showing a steady increase over time. This could be related to the GPU's temperature and this behavior has been observed also in [Burtscher et al. 2014].

Looking at the behavior of the application for the size G (Figures 3 and 4), there is a significant drop in the power readings in regular intervals. This happens because the application has pauses in the processing, in regular intervals, to take 'snapshots' (copying the data in the GPU memory to the CPU memory). During this time the GPU goes into a idle state, but ready to run a new kernel. In this state, the power drain is higher than a completely idle GPU. What we can see in the graphs is that during this pauses in the processing, the temperature drops as expected. But, when the application resumes the processing, the temperature rises faster than in the previous sequence o kernels. Also, the temperature gets higher, as can be seen in Figure 3, than the maximum temperature observed in the last sequence, being about 2 degrees higher than in the first sequence. In addition to that, it also gets to that temperature faster. This increase in the temperature could be contributing to the increase in power drain, but it could also be caused by it. We need to perform more tests in order to properly verify this behavior, including the execution of tests after pre-heating the GPU, or super-cooling it.

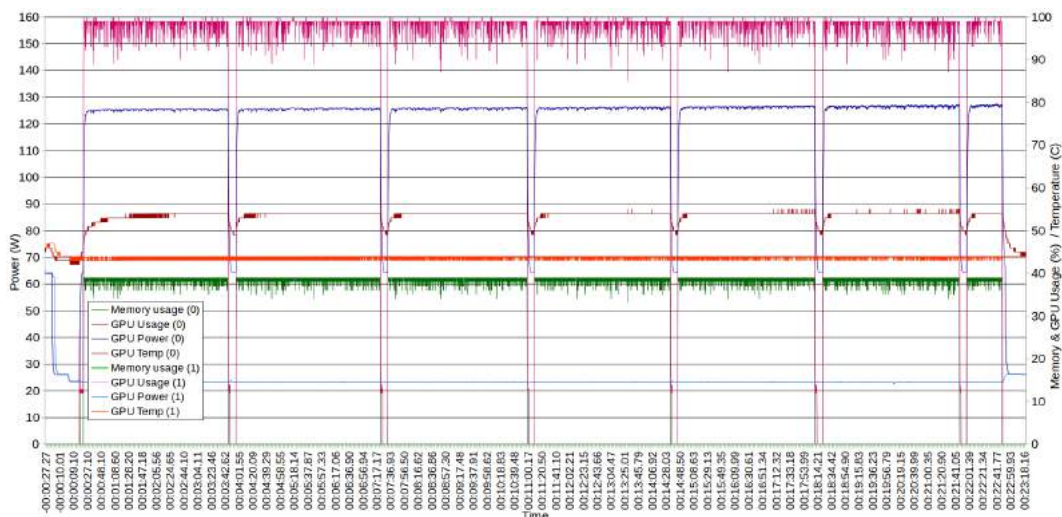


Figure 5. Results for the problem size L, executed on SDumont and collected by the NVML based monitoring application.

Analyzing the results for the largest execution size (size L) on SDumont (Figure 5), it is possible to see some behavior seen also in the graphs for the G size. For example, the steady increase in the power readings over time, as well for the temperature, and the 'stop-and-go' behavior, similar for the G size. Although there is also a high level

of fluctuation on the usage of the GPU cores and memory, the range of the fluctuation is shorter than that seen in the problem size G. In this case, the readings have a higher concentration, at 99% usage for the GPU and 39% for the memory. We also can see the fluctuation on the power readings, but the range is very narrow, almost negligible. The L size took 22 minutes and 50 seconds to complete, consuming 200,740 J (166,496 J of the computing GPU and 34,244 J of the idle GPU).

Table 3 summarizes the results for all experiments. Time to solution for small problem size (A) has less execution time in ComCiDis, which has lower computational capacity. However, the energy to solution was considerably larger. This behavior change from problem size G, where time and energy to solution are lower for SDumont, since the power consumption by this GPU generation is smaller and also the execution time is shorter. In general what could be observed, for this set of experiments, is that as the size of the problem increases, the execution time increases. However, the energy consumption is not proportional to the increase in execution time.

Size	Cluster	Time to solution	Energy to solution
A	SDumont	9,5 sec	1,092 J
A	ComCiDis	7,9 sec	2,291 J
G	SDumont	4 min 12 sec	36,802 J
G	ComCiDis	6 min 32 sec	101,703 J
L	SDumont	22 min 50 sec	200,740 J

Table 3. Time and Energy to Solution on GPUs.

4.4. Results - CPU x GPU

Here, we will present the results obtained in ComCiDis cluster using both the IPMItool based monitoring application for CPU and the script for GPU (the same used in the experiments presented in Section 4.3). In this experiments we used the application LUD for problem size of 16384, with OpenMP and CUDA parallel models.

Figure 6 displays the results using the OpenMP parallel model in CPU. The average execution time was about 2 minutes and 54 seconds with the sampling rate between 1 and 3 Hz. There are two intervals of 30 seconds, one before T_1 and another after T_3 . In these intervals ('padding'), only the monitoring tool was running to establish the baseline of power drain. The average of the power drain was of 170 W with an energy consumption of 29,240 J and the average of the power consumption measured with the monitoring tool running was of 182 W. So, the monitoring tool increased the power consumption by 12 W, with an energy consumption of 2,064 J. The energy consumption was calculated only when the application was running.

The LUD application started in T_1 and finished in T_3 . While the application was running, it is possible to note two steps: *i*) between T_1 and T_2 the application was loading the matrix (serial region of code) and the average of power consumption was of 218 W - power consumption's increase of 36 W - with an energy consumption of 2,916 J, and *ii*) between T_2 and T_3 , the application was solving the problem (OpenMP region of code), the average of power consumption was of 298 W - increase of 116 W - with an energy consumption of 10,556 J. The rise in temperature in the CPU (0), when the application was loading the matrix, indicates that only that CPU was executing the process. Between

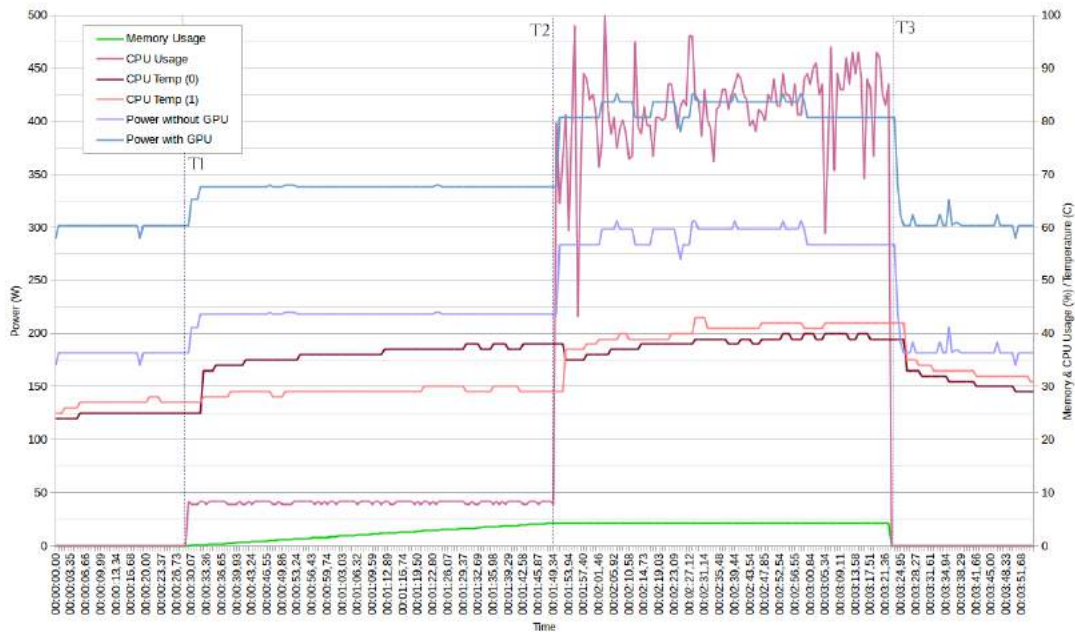


Figure 6. Results for the ComCiDis CPU collected by the IPMItool based monitoring application.

the interval T2 and T3 the parallel region of the code is started and both CPUs were executing the process. So, it is possible to observe the rise of the temperature in both CPUs and the peak of the power consumption and CPU utilization rate.

		CPU			GPU		
		System	Monitor	App	System	Monitor	App
Energy (J)	Serial Region	13,770	972	2,916	17,989	811	1,758
	Parallel region	15,470	1,092	10,556	5,721	258	4,990
Power (W)	Serial region	170	12	36	266	12	26
	Parallel region	170	12	116	266	12	232

Table 4. Results for the ComCiDis's CPU and GPU.

Table 4 compares the results for the energy and power consumption by system, monitor and application, while the application was running on serial and parallel region of the code. In the column *System*, can be observed that the power consumption by the GPU system was greater than by the CPU system, increased by GPU devices. For the application (*App*), it's possible to note that power consumption on serial region was much smaller than on parallel region for either CPU and GPU. Even the power consumption on parallel region in the GPU was greater than in the CPU. Although the power consumption was greater, given the execution time of the application, the energy-to-solution in the parallel region in CPU was smaller than for GPU. The power consumptions by the monitors (*Monitor*) were the same for both CPU and GPU, but the energy consumptions were different because the execution time on GPU was less than on CPU.

5. Final Considerations

In this work were analysed two directly measuring methods via internal sensor for two generations of NVIDIA GPUs. Also, we compare the power profile of GPU with CPU

using IPMItool for a deeper understanding of this method. For this we developed two monitoring tools, based on NVML and IPMItool.

Analyzing the results obtained with both monitoring approaches, as well as for different GPUs and problem sizes, it is possible to make some observations. With regard to different generations of sensors, and consequently the available sensors to measure temperature and energy, the precision of K40 in relation to M2050 is very high. This can be clearly observed for the smallest problem size A, where the profiling power is much coarse-grained for M2050. Also, the refreshing rate for K40 is very faster and its idle power drain is about 25 W against 60 W for M2050, indicating the improvement in the energy saving of the newer generations.

Regarding the monitoring applications, the sampling rate for NVML based monitoring application is much higher, reaching 500 Hz versus only 3 Hz for IPMItool. Thus, the accuracy of the power profile obtained with the NVML based application is much higher with incurred overhead of almost zero for the execution time and the power measured for GPU. Another advantage is that this method does not need *sudo* user to query the sensors, in order to enable the monitoring of environments that have high restrictions to access, like SDumond. Using the IPMItool based monitoring it was possible to compare the power consumption and estimate the energy consumption for GPU and CPU. The accuracy is the same for both architectures, since IPMItool query the same kind of sensors. The power profile is not so accurate, as demonstrated in results and there is an overhead about 2.5% of CPU utilization rate. Despite these limitations, in some cases its use is still a nice option, like in generations of GPUs that do not have built-in sensors. Besides that, this monitoring method allows to analyse the power profile, for the same application, in different architectures and parallel models. The major limitation is the need for *sudo* user.

In general, both monitoring tools were feasible for our studies on energy consumption of the applications. However, we conclude that the best option could be a monitoring tool that combines the two monitoring tools, since the NVML measures only the individual power levels for each GPU and IPMItool measures only the total power used by the whole computing node. Thus, it would be possible to develop a more accurate monitoring.

As future works we plan to develop this hybrid monitoring tool, to execute tests with a multi-GPU version of the real application and also to perform multiple experiments, similar to those presented using IPMItool, however, using different times of application launches in relation to the launch time of the monitor.

Acknowledgments

This work has received partial funding from the European Union's Horizon 2020 Programme (2014-2020) and from Brazilian Ministry of Science, Technology, Innovation and Communication through the Rede Nacional de Pesquisa (RNP) under the HPC4E Project (www.hpc4e.eu), grant agreement n 689772 and from the National Council for Technological and Scientific Research (CNPq). The authors would also like to thank CENPES/Petrobras.

References

Adhinarayanan, V., Subramaniam, B., and chun Feng, W. (2016). Online power estimation of graphics processing units. In *16th IEEE/ACM International Symposium on*

- Cluster, Cloud and Grid Computing, CCGrid 2016, Cartagena, Colombia, May 16-19, 2016*, pages 245–254. IEEE Computer Society.
- Bridges, R. A., Imam, N., and Mintz, T. M. (2016). Understanding gpu power: A survey of profiling, modeling, and simulation methods. *ACM Comput. Surv.*, 49(3):41:1–41:27.
- Burtscher, M., Zecena, I., and Zong, Z. (2014). Measuring gpu power with the k20 built-in sensor. In *Proceedings of Workshop on General Purpose Processing Using GPUs, GPGPU-7*, pages 28:28–28:36, New York, NY, USA. ACM.
- Che, S., Boyer, M., Meng, J., Tarjan, D., Sheaffer, J. W., Lee, S.-H., and Skadron, K. (2009). Rodinia: A benchmark suite for heterogeneous computing. In *IISWC*, pages 44–54. IEEE.
- Coplin, J. and Burtscher, M. (2016). Energy, power, and performance characterization of GPGPU benchmark programs. In *2016 IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium Workshops, IPDPS Workshops 2016, Chicago, IL, USA, May 23-27, 2016*, pages 1190–1199. IEEE Computer Society.
- Ge, R., Vogt, R., Majumder, J., Alam, A., Burtscher, M., and Zong, Z. (2013). Effects of dynamic voltage and frequency scaling on a k20 gpu. In *2013 42nd International Conference on Parallel Processing*, pages 826–833.
- Karami, A., Mirsoleimani, S. A., and Khunjush, F. (2013). A statistical performance prediction model for opencl kernels on nvidia gpus. In *The 17th CSI International Symposium on Computer Architecture Digital Systems (CADSD 2013)*, pages 15–22.
- Kasichayanula, K., Terpstra, D., Luszczek, P., Tomov, S., Moore, S., and Peterson, G. D. (2012). Power aware computing on gpus. *Application Accelerators in High-Performance Computing, Symposium on*, 00:64–73.
- Lee, Y. and Kim, S. (2015). Empirical characterization of power efficiency for large scale data processing. In *2015 17th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT)*, pages 787–790.
- Mei, X., Wang, Q., and Chu, X. (2016). A survey and measurement study of GPU DVFS on energy conservation. *Digital Communications and Networks*.
- Menezes, G. S., Silva-Filho, A. G., Souza, V. L., Medeiros, V. W. C., Lima, M. E., Gandra, R., and Braganca, R. (2012). Energy estimation tool fpga-based approach for petroleum industry. In *Proceedings of the 2012 41st International Conference on Parallel Processing Workshops, ICPPW '12*, pages 600–601, Washington, DC, USA. IEEE Computer Society.
- Mittal, S. and Vetter, J. S. (2014). A survey of methods for analyzing and improving gpu energy efficiency. *ACM Comput. Surv.*, 47(2):19:1–19:23.
- NVIDIA (2012). *NVML API Reference Manual*. <http://developer.download.nvidia.com/assets/cuda/files/CUDADownloads/NVML/nvml.pdf>.
- Wang, G. (2010). Power analysis and optimizations for gpu architecture using a power simulator. In *2010 3rd International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering (ICACTE)*, volume 1, pages V1–619–V1–623.

Mecanismo para Cooperação e Coligação de Veículos Baseado na Teoria dos Jogos para Transmissão de Vídeos em VANETs

Wellington Lobato Junior¹, Denis Rosário¹, Leandro A. Villas² e Eduardo Cerqueira¹

¹ Universidade Federal do Pará (UFPA)

²Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)

{wellington1, denis}@ufpa.br, leandro@ic.unicamp.br, cerqueira@ufpa.br

Abstract. *Vehicular Ad-hoc NETWORKS (VANETs) promise a wide scope of multimedia services ranging from security and traffic announcements to entertainment and advertising videos. However, the transmission of real time videos over VANET must consider the Quality of Experience (QoE) requirements, and also the dynamic network topology with short contact time. To mitigate such problems, neighbors vehicles moving in the same direction and wishing to cooperate may collaborate to form a platoon, and thus such vehicles move with similar speed. This paper introduces a platoon mechanism based on game theory for video transmission with QoE support, called of TJ2P. TJ2P mechanism selects vehicles to form a platoon with similar speeds and appropriate distance to transmit videos. Simulation results confirm the efficiency of the TJ2P mechanism to ensure video transmission with adequate QoE, without increasing the fuel consumption and CO₂ emission compared to BLR and XLinGO protocols.*

Resumo. *As redes veiculares (VANETs) oferecem uma ampla gama de serviços multimídia que vão de segurança e avisos de tráfego a vídeos de entretenimento e publicidade. Contudo, a transmissão de vídeo em tempo real em uma VANET tem rigorosos requisitos de Qualidade de Experiência (QoE), além de topologia de rede altamente dinâmica com baixo tempo de contato. Para mitigar tais problemas, os veículos próximos que se deslocam no mesmo sentido e que desejam cooperar podem agrupar-se para formar um pelotão e, assim, os veículos irão movimentar-se com velocidade semelhante. Nesse contexto, este artigo apresenta um mecanismo baseado em teoria dos jogos para formação de pelotão denominado de TJ2P, o qual possibilita a transmissão de vídeo com suporte a QoE. O mecanismo TJ2P seleciona veículos com velocidades similares e uma distância apropriada para formar o pelotão. Resultados de simulações constata a eficiência do mecanismo TJ2P em garantir a transmissão de vídeo com QoE adequado, sem aumentar o consumo de combustível e emissão de CO₂, em comparação aos protocolos BLR e XLinGO.*

1. Introdução

De acordo com [Cisco 2016], a transmissão de dados multimídia irá representar até 90% do tráfego dos dados globais. Em particular, [Ericsson 2013] mostra que a transmissão de multimídia por intermédio da rede sem fio tem tido o maior e mais rápido crescimento do segmento e representará cerca de 50% do tráfego global de dados até 2019. Logo, os usuários irão produzir, compartilhar e consumir serviços de vídeo em tempo real até

mesmo em seus veículos. Nesse contexto, as VANETs são redes que consideram veículos em movimento para criar uma rede *ad-hoc* e possibilitar uma diversidade de aplicações que vão de segurança e avisos de tráfego a vídeos de entretenimento e publicidade [Lee et al. 2014]. Por exemplo, os veículos podem disseminar vídeos de situações perigosas em uma estrada para informar visualmente motoristas e equipes de resgate sobre o ocorrido.

Em uma transmissão de vídeo em VANET, os usuários esperam receber o conteúdo de vídeo com um nível adequado de Qualidade de Experiência (QoE), não importando as condições da VANET [Liotou et al. 2015]. Por exemplo, os usuários esperam receber vídeos em tempo real com boa qualidade, mesmo que estejam localizados a quilômetros de distância do acidente. Dessa forma, diversos protocolos de roteamento para a comunicação de Veículo para Veículo (V2V) foram propostos para atender à exigência de entrega vídeo em VANET [Liu et al. 2016]. Contudo, a transmissão de vídeo com suporte a QoE em uma VANET é uma tarefa difícil devido às frequentes desconexões causadas pelas mobilidades dos veículos [Quadros et al. 2015]. Por exemplo, [Uppoor and Fiore 2012] analisou um registro de mobilidade em uma rodovia da cidade de Colônia na Alemanha e concluiu que a maioria dos veículos têm contatos extremamente curtos, variando entre 1 e 15 segundos.

Para aumentar o tempo de contato entre veículos, estes podem ser agrupados com interesse em comum para que um veículo siga o outro, formando um pelotão, ou seja, mantendo a mesma distância e velocidade, evitando, assim, falhas de comunicação [Jia et al. 2014]. A movimentação de veículos em pelotão em uma rodovia traz benefícios para a disseminação e compartilhamento de vídeo, pois tais veículos podem ser usados para encaminhar os pacotes de vídeo [Amoozadeh et al. 2015]. E também, formação de pelotão melhora a vazão de veículos na rodovia, reduz o consumo de combustível e emissão de CO_2 [Jia et al. 2014]. Entretanto, os veículos terão o tempo de viagem alterado devido às mudanças de velocidade para participarem do pelotão. Sendo então necessário oferecer benefícios aos veículos participantes do pelotão.

A formação de pelotão conta com a participação ativa dos veículos/usuários, onde mecanismos de incentivo fomentam uma maior participação dos mesmos [Wang and Lin 2015]. Por exemplo, um veículo que participa do pelotão poderá ter prioridade na transmissão de conteúdo no futuro ou participar de pelotão composto por veículos com melhores reputações. Os regimes monetários, recompensas, cupons, moedas virtuais ou créditos são os métodos diretos para bonificar os veículos que participam do pelotão. No entanto, faz-se necessário escolher os veículos que possibilitem disseminação de vídeos com QoE adequado, além de resolver situações de conflitos de um veículo desejando participar de dois ou mais pelotões. Diante desse quadro, a teoria dos jogos provê um conjunto de ferramentas matemáticas e técnicas para a modelagem de situações que envolvem conflito de interesses entre os agentes de decisão.

As principais abordagens envolvendo teoria dos jogos são subdivididas em jogos cooperativos e jogos não cooperativos [Hu et al. 2016]. Nos jogos não cooperativos, os jogadores não podem estabelecer compromissos antes de iniciar o jogo. Por outro lado, nos jogos cooperativos, os jogadores podem estabelecer relações prévias antes de começar o jogo, além de estabelecer compromissos garantidos com os demais jogadores. Nos jogos simultâneos, o processo de interação do jogo acontece em uma única etapa, já nos jogos

sequenciais a interação acontece em uma sequência de etapas. Portanto, na formação de um pelotão, considerando teoria dos jogos, é esperado que cada jogador (veículo) escolha sua estratégia sem ter acesso à estratégia e sem esperar a decisão dos outros jogadores, ou seja, um jogo não cooperativo e simultâneo.

Este artigo propõe um mecanismo para formação de Pelotão baseado na teoria dos jogos para que seja realizada transmissão de vídeo com suporte a QoE, denominado de TJ2P (Teoria dos Jogos to Platoon). O mecanismo TJ2P considera teoria dos jogos para decidir quais veículos devem participar do pelotão e resolver situações de conflitos entre dois ou mais coligações durante a transmissão. A cooperação entre os veículos é garantida por meio de uma função de recompensa, a qual garante uma retribuição para os participantes do pelotão. O TJ2P seleciona, para participar do pelotão, um conjunto de veículos que estejam em movimento no mesmo sentido, com velocidades semelhantes e uma distância apropriada para disseminar o vídeo, provendo dessa maneira uma maior conectividade entre os veículos. Resultados de simulações constatam a eficiência do mecanismo TJ2P em transmitir vídeo com QoE 39% maior que os vídeos transmitidos pelos protocolos *Beacon-Less Routing* (BLR) e *Cross-layer Link Quality and Geographic-aware beaconless Opportunistic Routing* (XLinGO). O mecanismo TJ2P forneceu uma recompensa aos veículos por terem aumentado o seu tempo de viagem, e também diminuiu o consumo de combustível e emissão de CO_2 comparado aos protocolos BLR e XLinGO.

As seções deste artigo estão organizadas da seguinte forma: A Seção 2 discute os principais trabalhos envolvendo disseminação de vídeo em VANET. A Seção 3 descreve o modelo de rede e o mecanismo TJ2P. A Seção 4 descreve os resultados obtidos com as simulações. A Seção 5 conclui o trabalho e apresenta os trabalhos futuros.

2. Trabalhos Relacionados

Diversos protocolos de roteamento foram propostos para atender à exigência de entregar vídeo em VANETs. [Braun et al. 2010] introduzem o conceito de *Dynamic Forwarding Delay* (DFD) como a decisão de encaminhamento no protocolo BLR. Ao invés de realizar uma troca contínua de informações com os nós vizinhos, cada nó faz a decisão de encaminhamento calculando o valor DFD com base na sua localização atual e na localização do vizinho contida no pacote recebido. Todos os receptores definem um temporizador com base no valor de DFD e aquele que terminar o temporizador primeiro será selecionado como o nó encaminhador. [Rosário et al. 2014] propõem o protocolo XLinGO, o qual considera parâmetros de múltiplas camadas para cálculo de DFD, tais como tamanho do buffer, qualidade do enlace, localização e energia. [Quadros et al. 2015] apresentam um mecanismo para calcular o DFD baseado em parâmetros do vídeo, localização e QoE. Contudo, uma VANET tem topologia de rede altamente dinâmica com baixo tempo de contato, ocasionando frequentes desconexões. Além disso, tais protocolos de roteamento não levam em consideração formação de pelotão para reduzir atrasos e perdas de pacotes durante a transmissão.

Em relação a formação de pelotão em VANET, [Zhang and Cao 2011] propuseram dois algoritmos baseados em custo e eficiência com o intuito de encontrar o melhor veículo para transmitir dados dentro do pelotão e analisar possíveis anomalias na mobilidade que possam afetar a transmissão dos dados. [Jia et al. 2014] apresentam um modelo de mobilidade baseado em pelotão levando em consideração os parâmetros de mobilidade

dos carros, tais como fluxo de tráfego, velocidade de coligação, tamanho da coligação e faixa de transmissão. Porém, este trabalho considera que todos os veículos do pelotão podem comunicar-se diretamente, isso significa que o comprimento do pelotão não excede um salto. Além do mais, os mecanismos para formação de pelotão devem fornecer incentivos para os veículos que participam do pelotão, uma vez que os veículos terão o tempo de viagem, consumo de combustível e emissão de CO_2 alterados.

[Chen et al. 2011] propõem um mecanismo de incentivo baseado em teoria dos jogos para formar grupos. Tal mecanismo pode ser utilizado na tomada de decisão de protocolos de roteamento, estimulando a cooperação entre os participantes da rede. O mecanismo considera o espaço de armazenamento de cada veículo da rede para decidir quais pacotes podem ser descartados e quais veículos podem participar de uma transmissão. [Gerla et al. 2014] expõem uma abordagem utilizando teoria dos jogos para incentivar a participação dos nós intermediários a realizarem *networking coding*. Contudo, tais trabalhos não consideram a maneira como ocorre a coligação dos nós para formar um pelotão.

Com base na análise dos trabalhos relacionados, pode-se concluir que é essencial considerar um mecanismo de coligação eficiente para formação de um pelotão, como forma de reduzir o número de desconexões causadas pela alta mobilidade dos veículos. Isso requer ciência acerca dos requisitos QoE e considerar mecanismos de incentivo para recompensar os veículos que participam do pelotão.

3. Mecanismo Baseado em Teoria dos Jogos para Formação de Pelotão Visando Transmissão de Vídeo em uma VANET (TJ2P)

Esta seção descreve o mecanismo TJ2P, o qual considera teoria dos jogos para a formação do pelotão entre os veículos de uma VANET. Para formar o pelotão, o mecanismo proposto seleciona veículos que estejam movimentando-se na mesma direção, tenham velocidades semelhantes e uma distância apropriada para transmissão do vídeo com qualidade. Tais veículos recebem uma recompensa por participarem do pelotão. À vista disso, primeiramente será apresentado o modelo de sistema e rede, em seguida, será feita a descrição do mecanismo TJ2P.

3.1. Modelagem do Sistema e Rede

Foi considerado um ambiente de VANET para disseminação de vídeos de acidentes, onde existem n veículos (nós de uma VANET) em movimento em uma rodovia com j pistas e cada veículo tem uma identidade individual denotada por $(i \in [1, n])$. Estes nós são representados por um grafo dinâmico $G(V, E)$, onde os vértices $V = \{v_1, \dots, v_n\}$ representam um conjunto finito de veículos e as arestas $E = \{e_1, \dots, e_m\}$ formam um conjunto de enlaces de comunicação sem fio assimétrico entre os veículos vizinhos $N(v_i) \subset V$. Os vizinhos a 1 salto de distância de v_i são representados por $N(v_i)$.

Cada veículo (v_i) movimenta-se em uma das pistas da rodovia com uma direção (\vec{dir}_i) e uma velocidade S_i variando entre os limites mínimo (S_{min}) e máximo (S_{max}). Cada veículo (v_i) é ciente de sua própria localização $L_i(x, y)$ por meio de sistema de posicionamento, tal como o GPS. Por outro lado, a localização do nó destino $(DN) \subset V$ é conhecida por algum serviço de localização. Cada veículo v_i é equipado com um transmissor de rádio compatível com o padrão IEEE 802.11p, por meio do qual os veículos v_i

comunicam-se com seus vizinhos $N(v_i)$. Tais nós têm uma fila (Q) com uma capacidade máxima (Q_{max}) e um tamanho atual da fila (Q_{length}). A política de escalonamento de transmissão de pacotes é realizada pelo algoritmo *First in First Out* (FIFO) e o descarte de pacotes utiliza o algoritmo *Drop Tail*. Os veículos também têm um codificador e decodificador de vídeo. Por conveniência de notações, foi denotado $SN \subset V$ como o veículo v_i responsável por capturar o fluxo de vídeo e transmitir para o destino DN por meio de múltiplos veículos intermediários ($F_i \subset V$).

O mecanismo TJ2P tem duas etapas para a formação do pelotão. A primeira etapa (comunicação) consiste em disseminar informações para selecionar veículos que estejam em movimento na mesma direção, tenham velocidade semelhante e uma distância apropriada para transmissão do vídeo com qualidade. A segunda etapa (mobilidade) é responsável por criar e manter um pelotão para disseminação do vídeo. Ainda sobre o mecanismo TJ2P, observam-se as seguintes premissas.

- O jogo J é não cooperativo e simultâneo.
- Não existem nós mal intencionados na rede.
- Todos os veículos v_i estão dispostos a participar do pelotão.

3.2. Configurações do Jogo para o Mecanismo TJ2P

Os veículos v_i são jogadores de um jogo J não cooperativo e simultâneo, pois os veículos v_i escolhem suas estratégias sem esperar e sem ter acesso às estratégias dos seus vizinhos $N(v_i)$. Formalmente, pode-se descrever o jogo J como $\{V, A, U\}$. O conjunto de veículos é representado por V , o conjunto de estratégias disponíveis para cada veículo v_i é denotado por $A = \{a_1, a_2, a_3, \dots, a_n\}$, ou seja, $a_i \in \{Agrupar, \text{Não-agrupar}\}$. O veículo v_i que decidir pela estratégia a_i de *Agrupar* para participar do pelotão terá o tempo de viagem, consumo de combustível e emissão de CO_2 alterados. Tal veículo receberá uma recompensa u_i por participar do pelotão. $U = \{u_1, u_2, u_3, \dots, u_n\}$ representa o conjunto com as funções de recompensa de cada veículo v_i , dependendo do conjunto de estratégias A .

Um dado veículo v_i receberá uma recompensa u_i e terá um custo C para a estratégia a_i de *agrupar*. O custo C está relacionado à utilização de recursos da rede, consumo de gasolina, emissão de CO_2 e alteração no tempo de viagem. Por outro lado, um dado veículo v_i terá zero de recompensa u_i , caso decida pela estratégia a_i de *não-agrupar*, pois não será possível formar o pelotão para transmitir o vídeo. Nesse sentido, faz-se necessário que os veículos estejam dispostos a agrupar-se para formar um pelotão, isto é, os veículos v_i devem escolher pela estratégia a_i de *agrupar*.

O Algoritmo 1 apresenta operações do mecanismo TJ2P para que os veículos de uma VANET formem um pelotão. O mecanismo TJ2P é considerado reativo, pois os veículos do pelotão são selecionados no mesmo instante em que um veículo v_i captura e dissemina um vídeo de acidente. Esse veículo v_i será considerado como fonte SN , pois terá que enviar um vídeo para um veículo de destino DN por meio de múltiplos veículos intermediários F_i . Para a formação do pelotão, os veículos transmitem três tipos de mensagens de controle: *advertisement* (*adv*), *join* e *acknowledgment* (*ack*).

Na etapa de comunicação, o veículo SN envia uma mensagem de *adv* aos seus vizinhos $N(SN)$, para iniciar a formação do pelotão. A mensagem de *adv* contém informações de velocidade S_{SN} e localização $L_{SN}(x, y)$ do veículo SN (linhas 1–4 do

Algoritmo 1). Essas informações são utilizadas para calcular a recompensa u_i para um dado veículo v_i participar do pelotão. Após o envio da mensagem de *adv*, o veículo SN aguarda pelas mensagens de *join* enviadas por seus vizinhos $N(SN)$.

Ao receber uma mensagem de *adv*, os veículos $N(SN)$ devem verificar se estão dentro da zona de encaminhamento do veículo SN . Um veículo v_i está dentro da zona de encaminhamento, caso esteja localizado entre os veículos SN e DN , bem como se movendo na mesma direção \vec{dir}_{SN} do veículo SN . Os veículos v_i , dentro da zona de encaminhamento, decidem por uma das estratégias a_i com base na recompensa para cada estratégia. O valor da recompensa u_i é calculado considerando as informações de velocidade do veículo fonte S_{SN} , a sua própria velocidade S_i , a distância euclidiana ($dist_{SN,v_i}$) entre SN e v_i e um ganho aleatório $\Omega_i \in [\Omega_{min}, \Omega_{max}]$ por participar do pelotão, esse ganho proposto pode representar uma bonificação monetária por garantir melhorias na rede. A função de recompensa u_i é calculada de acordo com a seguinte fórmula:

$$u_i = (S_i - S_{SN}) + dist_{SN,v_i} + \Omega_i \quad (1)$$

O veículo v_i que decidir pela estratégia a_i de *agrupar* deve enviar uma mensagem de *join* para o veículo SN , a fim de informar o valor da sua recompensa u_i para participar do pelotão. Tal veículo v_i deve armazenar o valor da velocidade S_{SN} , pois, v_i deve movimentar-se com a mesma velocidade do veículo SN , caso participe do pelotão (linhas 7–12 do Algoritmo 1).

A cada recepção de *join*, o veículo SN armazena o valor da função de utilidade (UF) (Eq. 2) e da identificação do veículo v_i que deseja participar do pelotão em uma lista de candidatos C (linhas 13–15 do Algoritmo 1). Tão logo o procedimento de envio de *join* seja finalizado, o veículo SN escolhe o veículo v_i com menor valor de UF para realizar a coligação, pois o mecanismo TJ2P considera que tal veículo v_i tem a recompensa u_i mais próxima da recompensa mínima u_{min} . Para o cálculo da recompensa mínima u_{min} , foi considerado ganho Ω_i zero as velocidades S_i e S_{SN} iguais e distância $dist_{SN,v_i}$ de $2/3$ do raio de alcance R_{max} . Com base em resultados de simulação, essa distância é considerada apropriada para transmissão do vídeo com qualidade, pois distâncias menores aumentam a quantidade de saltos. Enquanto que, distâncias maiores causam desconexões, visto que o raio de alcance R_{max} varia devido a problemas de atenuação e sombreamento do canal sem fio. Portanto, o mecanismo TJ2P seleciona veículos v_i para participar do pelotão com velocidades semelhantes com a do pelotão e uma distância apropriada para transmissão do vídeo. Dessa forma, o mecanismo TJ2P provê disseminação de vídeo com QoE adequado, ainda evita que os veículos participantes do pelotão não tenham o tempo de viagem, o consumo de combustível e a emissão de CO_2 grandemente alterados.

$$UF = \min_{i \in C} \{|u_i - u_{min}|\} \quad (2)$$

O veículo SN envia uma mensagem de *ack* para o veículo v_i escolhido para participar do pelotão (linhas 5–6 do Algoritmo 1). Os veículos do pelotão atuam como encaminhadores F_i dos pacotes de vídeo enviados do veículo SN para o destino DN , e, assim, colaboram em uma transmissão do vídeo com menor número de desconexões. Uma vez recebida a mensagem de *ack*, o veículo v_i muda para a etapa de mobilidade

alterando a sua velocidade S_i para a velocidade do pelotão S_{SN} , como forma de manter uma distância fixa com SN e formar um pelotão. O veículo v_i passa a ser o novo líder do pelotão, *i.e.*, enquanto que o veículo SN continua com o processo de coligação até que o veículo de destino DN seja alcançado (linhas 16–18 do Algoritmo 1). Vale a pena ressaltar que existem retransmissões das mensagens de *adv*, *join* e *ack*, caso elas sejam perdidas.

Algorithm 1 Mecanismo TJ2P

Event: Iniciar a Coligação

- 1: $adv.L_i \leftarrow L_i(x, y)$
- 2: $adv.velocidade \leftarrow S_i$
- 3: $adv.src_{id} \leftarrow v_i$
- 4: broadcast(*adv*)

Event: Decisão da Coligação

- 5: ordena a lista L pelo menor valor de U
- 6: unicast(*adv*, $L[o].id$)

Receive: *adv*

- 7: **if** dentro da zona de encaminhamento **then**

- 8: $S_{SN} \leftarrow join.velocidade$
- 9: $join.src_{id} \leftarrow v_i$
- 10: $join.u_i \leftarrow Eq.(1)$
- 11: unicast(*join*, $adv.src_{id}$)

- 12: **end if**

Receive: *join*

- 13: $c.UF \leftarrow Eq.(2)$
- 14: $c.id \leftarrow join.src_{id}$
- 15: ADD c em uma lista C de candidatos a coligação

Receive: *ack*

- 16: $S_i \leftarrow S_{SN}$
 - 17: v_i torna-se o líder da coligação
 - 18: Iniciar a Coligação com $N(v_i)$
-

3.3. Estudo de Caso

A Figura 1 apresenta um estudo de caso para formação de pelotão considerando o mecanismo TJ2P. Esse estudo de caso considera parte de uma VANET formada pelos nós $v_1, v_2, v_3, v_4, v_5, v_6$ e v_7 movimentando-se em uma rodovia. Nesse estudo de caso, v_1 é considerado como o veículo fonte SN e v_7 é considerado como o veículo de destino DN . Os nós têm um raio de transmissão R_{max} de 250 metros (m) e uma distância $dist_{SN, v_i}$ considerada adequada é de 166.6 m. Os veículos estão localizados em $L_1(50, 10)$, $L_2(100, 25)$, $L_3(150, 10)$, $L_4(250, 5)$, $L_5(25, 25)$, $L_6(125, 0)$, $L_7(400, 10)$ e movimentando-se a uma velocidade de 20, 10, 30, 20, 25, 30 e 25 m/s, respectivamente. A lista de candidatos de v_1 armazena as informações de v_i, u_i e UF.

Seguindo o funcionamento do TJ2P, o veículo v_1 inicia o processo de coligação enviando a mensagem de *adv* contendo a sua localização L_i e velocidade S_i , conforme ilustrado na Figura 1(a). Os veículos v_2, v_3, v_4, v_5 e v_6 recebem a mensagem de *adv*.

Porém, os veículos v_5 e v_6 estão fora da zona de encaminhamento de v_1 , pois v_5 está mais distante de v_7 , comparado a v_1 e v_6 está movimentando-se em direção $\overrightarrow{dir_i}$, oposta a v_1 . Logo, v_5 e v_6 não podem participar do pelotão.

Os veículos v_2 , v_3 e v_4 , que estão dentro da zona de encaminhamento, escolhem uma recompensa aleatória Ω_i , *i.e.*, 20, 25 e 10, respectivamente e após isso calculam o valor da recompensa u_i . Tais veículos enviam uma mensagem de *join* para v_1 contendo o valor da recompensa u_i , ou seja, 92.2, 125 e 220.06, respectivamente, conforme ilustra a Figura 1(b). O veículo v_1 recebe as mensagens de *join* e calcula o valor de UF para os veículos v_2 , v_3 e v_4 , ou seja, 74.4, 41.6 e 53.46, respectivamente. Na Figura 1(c), o veículo v_1 envia a mensagem de *ack* para o veículo v_3 , uma vez que v_3 tem a recompensa u_3 mais próxima da recompensa mínima u_{min} , ou seja, v_3 tem a velocidade mais próxima da velocidade de v_1 e uma distância mais próxima da distância adequada para transmissão de vídeo com qualidade. Ao receber a mensagem de *ack*, v_3 passa a movimentar-se a 20 m/s, formando, assim, o pelotão com v_1 . O processo de coligação segue até alcançar o veículo destino v_7 .

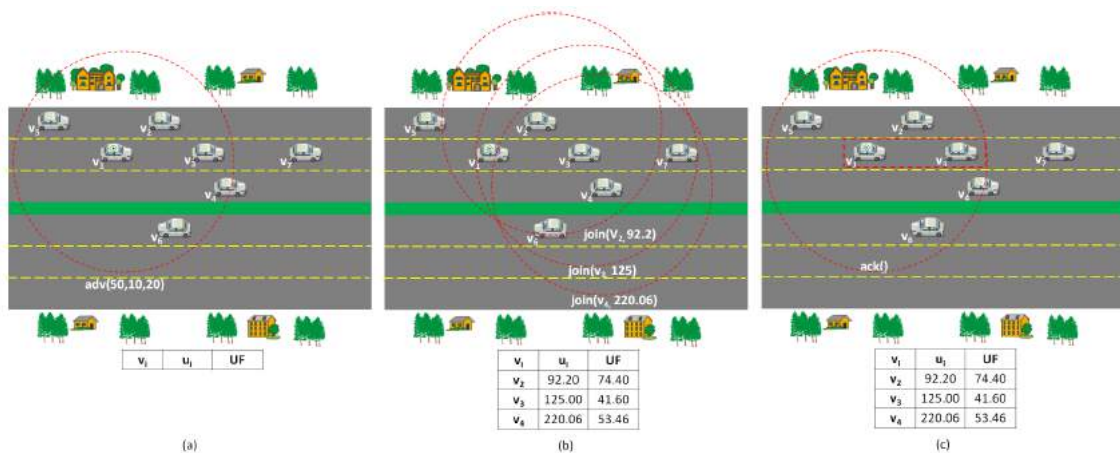


Figura 1. Estudo de Caso: Formação do Pelotão Entre os Veículos de uma VANET

4. Avaliação

Esta seção descreve a metodologia e métricas utilizadas para avaliar a qualidade dos vídeos transmitidos em uma VANET, bem como o impacto no consumo de combustível, emissão de CO_2 e atraso na viagem. Foram transmitidos vídeos com diferentes complexidades, e com o veículo fonte SN localizado em diferentes distâncias para o veículo DN . Dessa forma foi possível analisar o impacto na qualidade dos vídeos transmitidos pelo mecanismo TJ2P comparado aos protocolos BLR e XLinGO.

4.1. Descrição do Cenário e das Métricas

As simulações foram realizadas no framework M3WSN do OMNeT++¹. Para estabelecer um cenário relevante, utilizou-se 12 Km da rodovia de San Diego do OpenStreetMap², a qual foi importada pelo SUMO (Simulation of Urban MObility) para gerar os registros

¹<http://www.omnetpp.org>

²<http://www.openstreetmap.org/>

de movimentação dos veículos. Isso permite reproduzir os movimentos dos veículos e as interações V2V, de acordo com dados empíricos. As simulações foram repetidas 33 vezes com diferentes sementes de aleatoriedade e os resultados apresentam os valores com um intervalo de confiança de 95%. As simulações foram executadas durante 800 segundos, sendo que os vídeos foram transmitidos a partir dos 100 primeiros segundos até o tempo de simulação de 700 segundos. Decidiu-se organizar a arquitetura da simulação para permitir que existam variações temporais, enlaces assimétricos e raio de alcance irregular, tal como é esperado em um cenário de VANET.

Os veículos movem-se com uma velocidade variando de 20 a 45 m/s, onde cada veículo possui um rádio IEEE 802.11p (5.89 GHz, 6 Mbps) com um raio de transmissão R_{max} de 250 m. Seguindo a abordagem proposta em [Torres et al. 2015], situações de acidente foram agendadas para que o veículo DN realize requisições de vídeo para o SN próximo ao acidente. Os vídeos devem ser recebidos pelo veículo de destino DN a uma distância inferior a 2.0 km do veículo SN , fornecendo um limite de salto conforme apresentado em [Di Felice et al. 2013].

Os vídeos transmitidos nas simulações têm diferentes características de mobilidade e complexidade, os quais foram baixados da biblioteca [Library 2017]. Com duração de 10 segundos codificados em H.264 com 300 kbps, 30 quadros por segundo e com 352 x 288 pixels. O decodificador de vídeo no veículo de destino DN considera o método *Frame-Copy* para ocultar erro ao substituir cada quadro de vídeo perdido com o último recebido, reduzindo, assim, o impacto da perda de quadros e mantendo a qualidade de vídeo. A Tabela 1 sumariza os parâmetros de simulação. Foram realizadas simulações para demonstrar o impacto do mecanismo TJ2P comparando o desempenho com os protocolos BLR [Braun et al. 2010] e XLinGO [Rosário et al. 2014] em termos de qualidade dos vídeos transmitidos, consumo de combustível, emissão de CO_2 e atraso na viagem.

Tabela 1. Parâmetros de Simulação

Parâmetros	Valores
Área de Simulação	Rodovia com 12Km e 5 vias
Tempo de Simulação	800 segundos
Velocidade dos Veículos	20 à 45 m/s
Quantidade de veículos	400
Rádio de Transmissão	IEEE 802.11p
Raio de Transmissão R_{max}	250 m
Vídeos	Akiyo, Coastguard, Container, Hall e Mobile
Codificação dos Vídeos	H.264

Em termos de avaliação de qualidade de vídeo, as métricas de Qualidade de Serviço (QoS) por si só não são suficientes para avaliar o nível de qualidade das aplicações multimídia. Isso se deve ao fato de que elas falham na captura de aspectos subjetivos de conteúdo de vídeo relacionados com a experiência humana [Liotou et al. 2015]. As métricas de QoE superam essas limitações e, dessa forma, foram consideradas as métricas de QoE objetiva bem conhecidas para avaliar a qualidade dos vídeos transmitidos, nomeadamente SSIM (*Structural SIMilarity*) e VQM (*Video Quality Metric*). $SSIM \in [0,1]$

avalia quadro a quadro do vídeo três componentes: luminância, contraste e similaridade estrutural. Quanto maior for o valor SSIM melhor será a qualidade de vídeo. O VQM $\in [0,4]$ avalia danos na percepção do vídeo recebido com base em características do sistema visual humano, incluindo *blurring*, ruído e distorção de cores. Por outro lado, valores de VQM próximos de 0 significa vídeo com melhor qualidade. Foi utilizado o MSU *Video Quality Measurement Tool* (VQMT) para medir o valor SSIM e VQM de cada vídeo transmitido.

Para o cálculo de emissão de CO_2 e consumo de combustível, foi utilizado o modelo EMIT integrado M3WSN. O EMIT é um modelo estatístico para calcular emissões instantâneas de CO_2 e consumo de combustível baseado na aceleração e velocidade dos veículos, o qual é derivado da fórmula HBEFA³ - *Handbook Emission Factors for Road Transport*. Dessa forma, foi calculada a média do consumo de combustível e emissão de CO_2 para os veículos que participaram da transmissão de vídeo.

4.2. Análise dos Resultados

A Figura 2 apresenta a média do SSIM para os vídeos transmitidos em diferentes distâncias entre os veículos *SN* e *DN* pelo TJ2P, BLR e XLinGO. Pode-se observar que o mecanismo TJ2P provê disseminação de vídeo com SSIM 39% e 50% melhor em comparação ao SSIM dos vídeos transmitidos pelo XLinGO e BLR, respectivamente. Esse ganho de SSIM para o mecanismo TJ2P pode ser explicado pela baixa taxa de perda de quadros em comparação com as transmissões feitas pelos protocolos XLinGO e BLR. Por exemplo, o mecanismo TJ2P diminuiu a taxa de perda de quadros em 80% em relação às transmissões pelo BLR e XLinGO. Isso se deve ao fato de que o mecanismo TJ2P escolhe veículos para participar do pelotão que estejam movimentando-se no mesmo sentido, com velocidades semelhantes e uma distância apropriada para disseminar o vídeo, diminuindo as desconexões causadas pela mobilidade dos veículos. O mecanismo TJ2P considera teoria dos jogos para decidir quais veículos devem participar do pelotão e resolve situações de conflitos entre veículos durante a transmissão. Por outro lado, os protocolos XLinGO e BLR não consideram formação de pelotão para disseminação do vídeo e, assim, tais protocolos têm um grande número de desconexões causadas pelo baixo tempo de contato entre os veículos.

Apesar do ganho de SSIM dos vídeos transmitidos pelo mecanismo TJ2P, os veículos que participam do pelotão têm o seu tempo de viagem alterado. Uma vez que os veículos têm de movimentar-se com a mesma velocidade dos demais veículos do pelotão. Sendo assim, os veículos que participaram do pelotão tiveram em média um aumento no tempo de viagem de 11.2 segundos, com variação de 1.6 segundos. Para compensar esse atraso, os veículos receberam uma recompensa por terem participado desse pelotão e encaminhado os pacotes do vídeo. Além disso, tais veículos terão prioridade na transmissão de conteúdo no futuro ou participar de pelotão composto por veículos com melhores reputações e, assim, receber vídeos com qualidade assegurada. Esse tempo pode ser considerado pequeno dado que a colaboração ajudou a transmitir vídeos de situações perigosas em uma estrada e, assim, informar visualmente os motoristas e equipes de resgate sobre o ocorrido. Por outro lado, os veículos não tiveram seu tempo de viagem alterado nas transmissões realizadas pelos protocolos XLinGO e BLR, uma vez que tais protocolos não consideram formação de pelotão ou mudança de velocidade dos veículos.

³<http://www.hbefa.net>

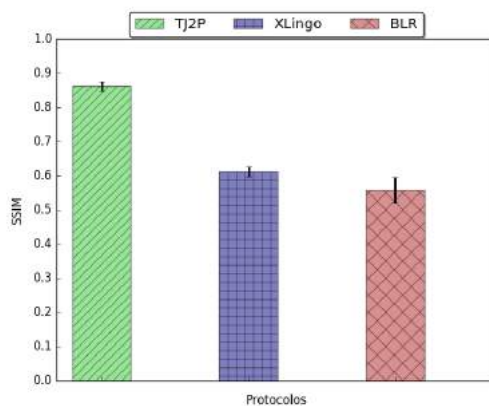


Figura 2. SSIM para os Vídeos Transmitidos

A Figura 3 apresenta a média do VQM para vídeos transmitidos em diferentes distâncias entre os veículos SN e DN pelo TJ2P, BLR e XLinGO. Ao contrário dos resultados de SSIM, quanto menor for o valor do VQM melhor será a qualidade de vídeo. Os resultados de VQM confirmam os benefícios da disseminação de vídeo com suporte a QoE pelo mecanismo TJ2P, o qual considera a formação de pelotão para evitar falhas de comunicação devido à mobilidade dos veículos. Por exemplo, os vídeos transmitidos pelo mecanismo TJ2P tem um VQM 50% melhor em comparação com as transmissões feitas pelos protocolos BLR e XLinGO. Com base nos resultados SSIM e VQM foi possível confirmar eficiência do mecanismo TJ2P em garantir a transmissão de vídeo em uma VANET com QoE adequado.

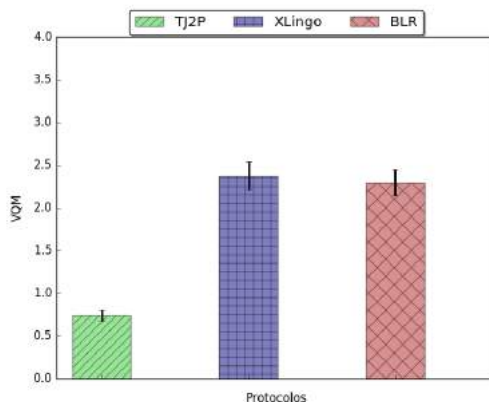


Figura 3. VQM para os Vídeos Transmitidos

Como os veículos do pelotão têm as suas acelerações alteradas, a emissão de CO_2 e o consumo de combustível são alterados também. A Figura 4 apresenta o consumo de combustível para os veículos que encaminharam os pacotes de vídeo via TJ2P, BLR e XLinGO. Pode-se observar que os veículos tiveram o mesmo consumo de combustível nos protocolos BLR e XLinGO, pois tais protocolos não consideram alteração na aceleração dos veículos. Sendo assim, esse valor de consumo de combustível serve como referência para analisar o consumo de combustível do mecanismo TJ2P. Ainda é possível notar que o consumo de combustível dos veículos foi reduzido em 32% ao participar do pelotão,

considerando o mecanismo TJ2P. Essa redução no consumo de combustível deve-se ao fato de que a velocidade dos veículos foi reduzida para participar do pelotão. Essa redução de velocidade é explicada para reduzir a quantidade de acidentes.

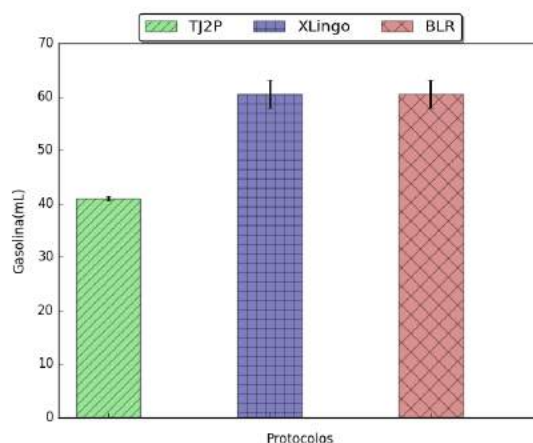


Figura 4. Consumo de Combustível

A Figura 5 apresenta os resultados de emissão de CO_2 dos veículos que encaminharam os pacotes de vídeo pelo TJ2P, BLR e XLinGO. Novamente, os protocolos XLinGO e BLR apresentam o mesmo valor de emissão de CO_2 , pois os veículos não sofreram alteração na aceleração. Por outro lado, o mecanismo TJ2P diminui a poluição do ar em 31% comparado ao BLR e XLinGO, devido à redução na velocidade dos veículos.

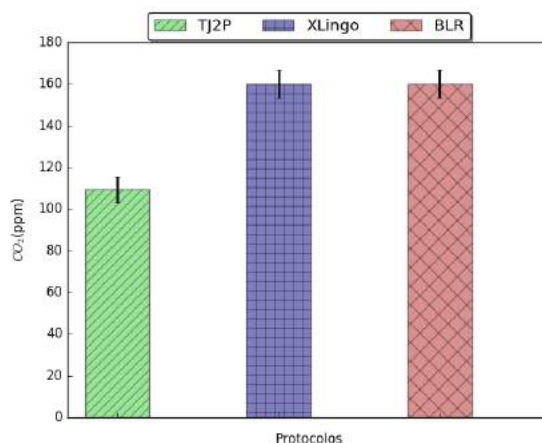


Figura 5. Emissão de CO_2

Em relação ao número de mensagens trocadas por cada protocolo, o BLR e XLinGO não incluem mensagens extras para o estabelecimento de rotas por serem protocolos do tipo beaconless, apesar de o XLinGO incluir mensagens para a manutenção de rotas (1 mensagem é enviada a cada 5 pacotes recebido em cada salto [Rosário et al. 2014]). O mecanismo TJ2P considera a troca de pelo menos 3 mensagens a cada salto para a criação do pelotão e não considera troca de mensagem para a manutenção do pelotão. Por outro lado, TJ2P entregou 50% a mais de vídeos que os pro-

protocolos XLinGO e BLR, ou seja, o mecanismo TJ2P tem uma maior taxa de sucesso na transmissão de vídeos.

A partir da análise dos resultados, foi possível notar que o mecanismo TJ2P entregou vídeos com QoE 39% melhores que os vídeos transmitidos pelos protocolos BLR e XLinGO. Apesar dos veículos que participaram do pelotão terem aumentado o seu tempo de viagem em 11 segundos, tais veículos tiveram uma redução na emissão de CO_2 e consumo de combustível em 30%, além de terem recebido uma recompensa pela participação da coligação.

5. Conclusão e Trabalhos Futuros

Este artigo apresentou o mecanismo TJ2P, o qual provê a formação de pelotão entre veículos de uma VANET utilizando teoria dos jogos para prover disseminação de vídeo com QoE adequado. O mecanismo TJ2P mitiga os problemas relacionados às frequentes desconexões causadas pela mobilidade dos veículos. Para formação do pelotão, foi considerado um jogo não cooperativo e simultâneo entre um conjunto de veículos em movimento no mesmo sentido, com velocidades semelhantes e com distância que possa prover disseminação de vídeo com qualidade. Dessa forma, o mecanismo aumenta a conectividade entre os veículos, provendo transmissão de vídeo com suporte a QoE em uma VANET. Resultados de simulações mostram a eficiência do mecanismo proposto em comparação com protocolos BLR e XLinGO para garantir a transmissão de vídeo com suporte a QoE. Ademais, pode-se constatar que apesar do mecanismo alterar a velocidade dos veículos, o consumo de combustível e emissão de CO_2 foram reduzidos. Isso é explicado porque os veículos do pelotão diminuíram a sua velocidade. Como trabalhos futuros, pretende-se aplicar algoritmos de melhor posicionamento dos veículos em conjunto com o mecanismo TJ2P.

Agradecimento

Este trabalho foi parcialmente financiado com recursos do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Referências

- Amoozadeh, M., Deng, H., Chuah, C.-N., Zhang, H. M., and Ghosal, D. (2015). Platoon Management with Cooperative Adaptive Cruise Control Enabled by VANET. *Vehicle Communications*, 2(2):110–123.
- Braun, T., Heissenbüttel, M., and Roth, T. (2010). Performance of the beacon-less routing protocol in realistic scenarios. *Ad Hoc Network*, 8(1):96–107.
- Chen, T., Wu, L., Wu, F., and Zhong, S. (2011). Stimulating Cooperation in Vehicular Ad Hoc Networks: a Coalitional Game Theoretic Approach. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 60(2):566–579.
- Cisco (2016). Cisco Visual Networking Index: Forecast and Methodology, 2015–2020. Technical report, Tech Report.
- Di Felice, M., Bedogni, L., and Bononi, L. (2013). Group Communication on Highways: An Evaluation Study of Geocast Protocols and Applications. *Ad Hoc Networks*, 11(3):818–832.

- Ericsson (2013). Ericsson mobility report: On the pulse of the networked society. Technical report, Ericsson, White Paper.
- Gerla, M., Wu, C., Pau, G., and Zhu, X. (2014). Content Distribution in VANETs. *Vehicular Communications*, 1(1):3–12.
- Hu, Z., Zheng, Z., Wang, T., Song, L., and Li, X. (2016). Game Theoretic Approaches for Wireless Proactive Caching. *IEEE Communications Magazine*, 54(8):37–43.
- Jia, D., Lu, K., and Wang, J. (2014). On the Network Connectivity of Platoon-based Vehicular Cyber-physical Systems. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 40:215–230.
- Lee, E., Lee, E.-K., Gerla, M., and Oh, S. Y. (2014). Vehicular Cloud Networking: Architecture and Design Principles. *IEEE Communications Magazine*, 52(2):148–155.
- Library, V. (2017). YUV Video Sequence Library. <http://trace.eas.asu.edu/yuv/> Mar. 2017.
- Liotou, E., Tsolkas, D., Passas, N., and Merakos, L. (2015). Quality of Experience Management in Mobile Cellular Networks: Key Issues and Design Challenges. *IEEE Communications Magazine*, 53(7):145–153.
- Liu, J., Wan, J., Wang, Q., Deng, P., Zhou, K., and Qiao, Y. (2016). A Survey on Position-based Routing for Vehicular Ad Hoc Networks. *Telecommunication Systems*, 62(1):15–30.
- Quadros, C., Santos, A., Gerla, M., and Cerqueira, E. (2015). A QoE-Aware Mechanism to Improve the Dissemination of Live Videos over VANETs. In *Proceedings of the XXXIII Brazilian Symposium on Computer Networks and Distributed Systems (SBRC 2015)*, pages 31–40. IEEE.
- Rosário, D., Zhao, Z., Santos, A., Braun, T., and Cerqueira, E. (2014). A beaconless Opportunistic Routing based on a Cross-layer Approach for Efficient Video Dissemination in Mobile Multimedia IoT Applications. *Computer communications*, 45(1):21–31.
- Torres, A., Calafate, C. T., Cano, J.-C., Manzoni, P., and Ji, Y. (2015). Evaluation of Flooding Schemes for Real-time Video Transmission in VANETs. *Ad Hoc Networks*, 24:3–20.
- Uppoor, S. and Fiore, M. (2012). Insights on Metropolitan-scale Vehicular Mobility from a Networking Perspective. In *Proceedings of the 4th ACM international workshop on Hot topics in planet-scale measurement*, pages 39–44. ACM.
- Wang, Y. and Lin, X. (2015). User-provided Networking for QoE Provisioning in Mobile Networks. *IEEE Wireless Communications*, 22(4):26–33.
- Zhang, Y. and Cao, G. (2011). V-pada: Vehicle-platoon-aware data access in vanets. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 60(5):2326–2339.

Desenvolvimento de um Algoritmo de Busca por Vértices Específicos em Redes

Pedro Freitas¹, Victor Cardoso², Giulio Iacobelli¹, Daniel Figueiredo¹

¹ Programa de Engenharia de Sistemas e Computação/COPPE
Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) - Rio de Janeiro, RJ

²Engenharia de Computação e Informação/Poli
Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) - Rio de Janeiro, RJ

{pfreitas, giulio, daniel}@land.ufrj.br, vcardoso@poli.ufrj.br

Abstract. *Many real networks are not immediately available but can be collected through a mining process. However, in some scenarios we are only interested in the discovery of vertices that have certain features. The others vertices are irrelevant. For this problem, classic algorithms (ex. breadth-first search) are inefficient. In this paper we use the homophily - inherent in many real networks - to propose a mathematical model that determines the probability of an unexplored vertex to have the feature. This model uses the features of the neighbor vertices already explored and global parameters of the network. The probabilities assigned by the model are used to guide an informed search, which at each step makes a greedy choice. We evaluated the algorithm in three real networks comparing different variations of the model and others search algorithms. The results show that none of considered methods is consistently more efficient than the others.*

Resumo. *Muitas redes reais não estão disponíveis de forma imediata mas podem ser coletadas através de um processo de mineração. Entretanto, em alguns cenários estamos interessados em descobrir apenas vértices que possuem determinadas características, sendo irrelevantes os demais vértices. Para esse problema, algoritmos de busca clássicos (ex. busca em largura) se mostram ineficientes. Neste trabalho utilizamos a homofilia - inerente em muitas redes reais - para propor um modelo matemático que determina a probabilidade de um vértice não explorado possuir a característica. O modelo utiliza as características dos vértices vizinhos já explorados e parâmetros globais da rede. As probabilidades atribuídas pelo modelo guiam um algoritmo de busca informada, que a cada passo faz uma escolha gulosa. Avaliamos o algoritmo em três redes reais, comparando diferentes variações do modelo e outros algoritmos de busca. Os resultados indicam que nenhum dos métodos testados é consistentemente mais eficiente que os demais.*

1. Introdução

O relacionamento entre pares de objetos pode ser representado por redes, onde os objetos correspondem aos vértices e a existência do relacionamento entre dois objetos às arestas da rede. Em muitos contextos, objetos possuem características que os personalizam. Por exemplo, a nacionalidade, profissão ou idade das pessoas em redes sociais, e o idioma,

tema ou ano de publicação de documentos em uma rede de informação. Redes muitas vezes não estão disponíveis de forma imediata, e precisam ser obtidas através de um processo de mineração. Por exemplo, a *web* pode ser coletada navegando pelos *hiperlinks* de suas páginas, e similarmente, usuários do *Twitter* podem ser coletados através da rede de seguidores.

Neste contexto, surge o seguinte problema: como coletar eficientemente vértices de uma rede que possuam determinada característica? Para ilustrar o problema, considere a rede da Figura 1 onde vértices rotulados por T e N possuem ou não determinada característica, respectivamente. Imagine que a rede é desconhecida mas pode ser descoberta iterativamente a partir de um vértice inicial. Idealmente, estamos interessados apenas nos vértices que possuem a característica, não sendo necessário descobrir os demais. Desta forma, um processo eficiente de mineração dos vértices deve maximizar o número de vértices T ao explorar a rede.

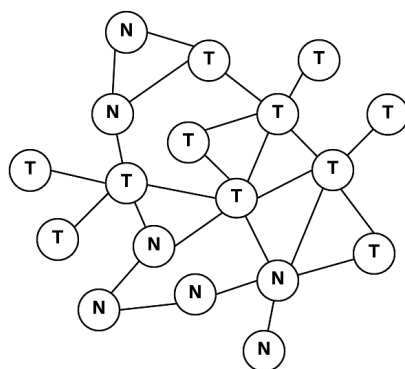


Figura 1. Rede com vértices que possuem (T) ou não (N) determinada característica.

O problema de minerar uma rede em busca de vértices com determinadas características encontra aplicações em muitos cenários, tais como campanhas de *marketing* personalizadas, sistemas de recomendação, detecção de fraudes de segurança, ou mesmo na identificação de estudantes que fumam para uma campanha antitabagismo eficaz [Murai et al. 2017]. Resolver este problema de forma eficiente é fundamental: considere o problema de encontrar pessoas no *Facebook* que declaram morar em Búzios. Búzios tem menos de 10^5 habitantes e a rede do *Facebook* tem mais de 10^9 pessoas, então como identificar estas pessoas de forma eficiente?

Algoritmos de busca em redes clássicos, tais como Busca em Largura (BFS), Busca em Profundidade (DFS), e Passeios Aleatórios (RW), são frequentemente empregados para descobrir redes reais. Entretanto, estes algoritmos são chamados de *desinformados* pois não utilizam nenhuma informação dos vértices para guiar o processo de busca. Intuitivamente, tais algoritmos podem não demonstrar bom desempenho na busca por vértices com determinadas características, no sentido de explorarem muitos vértices que não possuem a característica desejada.

Em contraposição, algoritmos de busca *informados* utilizam conhecimento específico dos vértices como parte do processo de busca [Russel and Norvig 2003]. Esse conhecimento é geralmente transformado em uma prioridade por uma função heurística

que é então utilizada para guiar a busca, explorando primeiro os vértices de maior prioridade. Esta ideia poder ser aplicada no problema em questão, pois as características dos vértices explorados podem guiar o processo de busca. Intuitivamente, esta abordagem pode ser bem mais eficiente, uma vez que prioriza a exploração de vértices que potencialmente possuem a característica.

Redes reais frequentemente exibem forte *homofilia*, que é a tendência de vértices a se relacionarem com vértices que possuem características similares. Por exemplo, amigos no *Facebook* tendem a ter a mesma nacionalidade, e páginas *web* tendem a apontar para páginas do mesmo idioma. Desta forma, uma heurística para a busca informada pode explorar a inerente homofilia das redes e guiar o processo de busca. Intuitivamente, a chance de um vértice possuir uma característica aumenta com o número de vizinhos que possuem a característica.

Neste trabalho propomos um modelo matemático probabilístico baseado em homofilia. O modelo determina a probabilidade de um vértice possuir a característica em função de seus vizinhos já conhecidos e de parâmetros da rede. Apresentamos três variações do modelo que são utilizadas para guiar uma busca informada pela rede. Experimentamos o modelo em três redes reais diferentes, e em diferentes características, comparando os resultados com buscas desinformadas, e também com um algoritmo informado recentemente proposto para este problema. Nossos resultados mostram que nenhum algoritmo testado é consistentemente superior aos outros, sendo o desempenho relativo fortemente dependente do caso. Isto indica a dificuldade de uma solução generalizada para este problema.

O restante desse artigo encontra-se organizado da seguinte forma: na Seção 2 apresentamos alguns trabalhos relacionados; na Seção 3 apresentamos o modelo matemático proposto e o algoritmo desenvolvido; na Seção 4 apresentamos as redes reais e a avaliação comparativa dos diferentes algoritmos; e finalmente, na Seção 5 são feitas as considerações finais.

2. Trabalhos Relacionados

O problema de busca em redes, exatamente como foi apresentado na Seção 1 (com descoberta gradual da rede e utilizando informação dos vértices), foi formulado e tratado recentemente em [Murai et al. 2017]. Empregando e adaptando métodos desenvolvidos para outros problemas ([Avrachenkov et al. 2014], [Wang et al. 2013], [Pfeiffer et al. 2012] e [Bnaya et al. 2013]), além de classificadores clássicos de Aprendizado de Máquina, os autores chegaram a conclusão de que é possível obter uma eficiência muito maior variando o classificador (ou método) utilizado em cada passo da busca. Para variar o método a cada passo da busca, é proposta um novo algoritmo chamado D^3TS , que baseia-se na política *Dynamic Thompson Sampling* empregada em problemas *Multi-Armed Bandit*¹.

Outros trabalhos na literatura que se aproximam do problema em questão foram desenvolvidos para *Active Search*. O objetivo da *Active Search* [Wang et al. 2013]

¹*Multi-Armed Bandit* é um problema em que um apostador em uma fileira de caça niqueis tem que se decidir pelas máquinas em que jogar, quantas vezes jogar em cada máquina e em que ordem jogar. Quando jogada, cada máquina oferece um prêmio segundo uma distribuição de probabilidade específica da máquina. O objetivo é maximizar a soma de prêmios recebida pelo apostador.

[Ma et al. 2015] [Garnett et al. 2012] [Xie et al. 2016] também é descobrir a maior quantidade possível de vértices pertencentes a uma determinada classe, porém a rede é conhecida neste caso. Isso permite que qualquer vértice da rede possa ser explorado a qualquer instante do algoritmo. Entretanto, alguns métodos propostos para *Active Search* podem ser adaptados para o problema em questão. Por exemplo, o método para *Active Search* proposto em [Wang et al. 2013] foi adaptado em [Murai et al. 2017] para considerar apenas a rede conhecida até o momento presente da busca.

Um outro método da literatura que pode ser adaptado para o problema em questão é o MOD (*Maximum Observed Degree*) [Avrachenkov et al. 2014]. MOD é um algoritmo de busca míope que propõe maximizar o número de vértices descobertos. Através de um processo iterativo, a cada passo o vértice com o maior grau observado é explorado. Intuitivamente, o MOD pode ser adaptado para o problema em questão simplesmente priorizando os vértices a serem explorados de acordo com o número de vizinhos já explorados que possuem a característica. De fato, esta adaptação foi também sugerida em [Murai et al. 2017], e será explorada neste trabalho.

3. Algoritmo

Partindo da premissa de que a estrutura da rede é inicialmente desconhecida, o algoritmo deve seguir os seguintes passos para descobrir a maior quantidade possível de vértices com a característica desejada (veja a Figura 2):

1. Escolhe-se um vértice para iniciar a busca e o explora (i.e., pergunta se ele possui a característica);
2. Ao explorar, além de ficar sabendo se o vértice tem a característica (vértices T) ou não (vértices N), o algoritmo também passa a conhecer todos os vizinhos do vértice explorado. Esses são os vértices descobertos porém ainda não explorados (vértices '?');
3. Dentro do conjunto de vértices descobertos e não explorados, o algoritmo deve escolher o próximo vértice a explorar segundo uma heurística. Esse vértice assumirá o papel do vértice inicial no passo 1;

A iteração do algoritmo só termina quando se atinge um número máximo de perguntas a serem feitas, que chamaremos de *orçamento*.

A estrutura de qualquer rede que estivermos interessados em realizar a busca pode ser representada por um grafo não-direcionado $G = (V, E)$, onde V é o conjunto de vértices da rede e E é o conjunto de arestas [Bondy and Murty 1976] [Netto 1996]. Desta forma, em um determinado instante da busca, um vértice do grafo só pode pertencer a apenas um dos três conjuntos: vértices explorados (O), vértices descobertos mas não explorados (D), e vértices não descobertos ($V \setminus (O \cup D)$). Na Figura 2, eles são representados, respectivamente, pelas cores preta, cinza e branca.

A heurística empregada em nosso algoritmo precisa de informações *a priori* da distribuição global dos tipos de aresta da rede. Dada uma aresta qualquer do grafo que já tenha os seus dois vértices adjacentes explorados, ela pode ser de um dos 3 tipos: aresta entre vértices com a característica (TT), aresta entre um vértice com e outro sem a característica (TN) ou aresta entre vértices sem a característica (NN). Chamaremos de P_T a fração de arestas do tipo TT , P_D a fração de arestas do tipo TN , e de P_N a fração

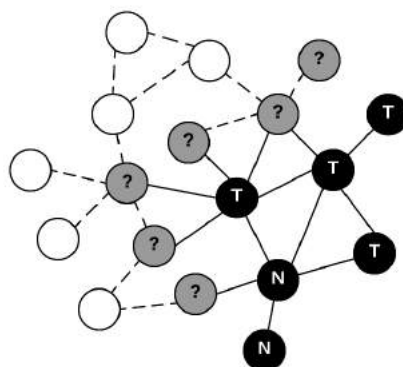


Figura 2. Snapshot de busca em um grafo após $t = 6$ passos. Vértices e arestas sólidas representa o subgrafo conhecido. Os vértices pretos representam os vértices explorados. Vértices descobertos mas não explorados são marcados por '?'.

de arestas do tipo NN sobre o grafo inteiramente explorado. Além de serem constantes, esses valores devem somar 1 obrigatoriamente. Essas frações indicam a intensidade da homofilia na rede, especificamente para a característica em questão.

Outra informação da qual a heurística se utiliza é o número de vértices vizinhos a um vértice $v \in D$ que possuem a característica e o número dos que não possuem. Chamaremos esses valores de k_T e k_N , respectivamente. Diferentemente de P_T , P_D e P_N , esses valores são calculados ao decorrer do processo de busca e estão sujeitos a atualizações a cada passo. A função heurística que usamos se baseia na probabilidade de um vértice ter a característica dado que o mesmo possui k_T vizinhos com a característica e k_N vizinhos sem a característica, ou seja $\mathbb{P}(A|k_T, k_N)$, onde A é o evento ‘ter a característica’. Além disso, assumimos que a influência de cada um dos vizinhos é idêntica e ocorre de forma independente.

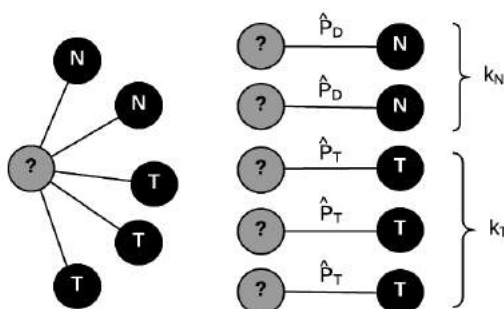


Figura 3. Ilustração do modelo probabilístico. Nesse exemplo, as probabilidades estão dispostas de forma que é calculada a probabilidade do evento ‘ter a característica’ ocorrer em todas as arestas.

Como estamos tratando a influência dos vizinhos como eventos independentes, o evento A , ‘ter a característica’, pode ser desmembrado em um evento para cada aresta (veja a Figura 3). A probabilidade condicional, $\mathbb{P}(A|k_T, k_N)$, então, pode ser melhor

representada por $\mathbb{P}(T = k|k_T, k_N)$, onde T é uma variável aleatória que indica o número de realizações do evento A . E $T \in [0, \dots, k_T + k_N]$.

As frações de arestas P_T , P_D e P_N não é bem o que a nossa heurística irá usar. Para a heurística só interessa arestas em que já é conhecido o rótulo (T ou N) de um dos vértices (Figura 3). Portanto, usaremos as probabilidades condicionais chamadas, P_T e P_D . P_T se trata da probabilidade de ocorrer o evento A em um vértice da aresta dado que na outra ponta da aresta temos um vértice T . P_D é a probabilidade de ocorrer o evento A em um vértice da aresta dado que na outra ponta da aresta temos um vértice N . As fórmulas dessas probabilidades condicionais são descritas a seguir:

$$P_T = P_T/(1 - P_N) \quad (1)$$

$$P_D = P_D/(1 - P_T) \quad (2)$$

Para $k = 0$, não temos nenhuma realização do evento A , i.e., em todas as arestas deve ocorrer N para o vértice analisado.

$$\mathbb{P}(T = 0|k_T, k_N) = (1 - P_T)^{k_T} (1 - P_D)^{k_N} \quad (3a)$$

Para $k = 1$, temos que deve ocorrer exatamente uma realização do evento A , seja em alguma das arestas em que o vértice conhecido é T ou em alguma das arestas em que o vértice conhecido é N .

$$\begin{aligned} \mathbb{P}(T = 1|k_T, k_N) = & \binom{k_T}{1} P_T (1 - P_T)^{k_T-1} (1 - P_D)^{k_N} + \\ & + \binom{k_N}{1} P_D (1 - P_D)^{k_N-1} (1 - P_T)^{k_T} \end{aligned} \quad (3b)$$

Para $k = 2$, temos que devem ocorrer duas realizações do evento A , e existem três formas possíveis disso acontecer. A primeira é que as duas ocorram em duas quaisquer arestas em que o vértice conhecido é T , a segunda é que as duas ocorram em duas quaisquer arestas em que o vértice conhecido é N , e a terceira, e última, forma é que uma ocorra em alguma das arestas em que o vértice conhecido é T e a outra em alguma das arestas em que o vértice conhecido é N .

$$\begin{aligned} \mathbb{P}(T = 2|k_T, k_N) = & \binom{k_T}{2} P_T^2 (1 - P_T)^{k_T-2} (1 - P_D)^{k_N} + \\ & + \binom{k_N}{2} P_D^2 (1 - P_D)^{k_N-2} (1 - P_T)^{k_T} + \\ & + \binom{k_T}{1} \binom{k_N}{1} P_T (1 - P_T)^{k_T-1} P_D (1 - P_D)^{k_N-1} \end{aligned} \quad (3c)$$

Agora fica fácil notar que as probabilidades calculadas seguem duas funções binomiais, uma com parâmetros P_T e k_T e outra com parâmetros P_D e k_N . Sendo assim,

para um valor k qualquer temos que:

$$\mathbb{P}(T = k | k_T, k_N) = \sum_{i=\max(0, k-k_N)}^{\min(k_T, k)} \binom{k_T}{i} P_T^i (1 - P_T)^{k_T-i} \binom{k_N}{k-i} P_D^{k-i} (1 - P_D)^{k_N-(k-i)} \quad (4)$$

Desse nosso modelo (Equação 4) surgem as três heurísticas utilizadas no trabalho. Sendo a mais rígida aquela que para calcular a probabilidade de um vértice ter a característica considera que o evento A tem que ocorrer nas $k_T + k_N$ arestas (Equação 5); uma menos rígida, e mais intuitiva, que calcula a mesma probabilidade mas considerando o evento A ocorrer na maioria das arestas (Equação 6); e uma menos rígida ainda que baseia o seu cálculo do vértice ter a característica na ocorrência do evento A em pelo menos uma das arestas (Equação 7).

$$H_1 = \mathbb{P}(T = k_T + k_N | k_T, k_N) = P_T^{k_T} P_D^{k_N} \quad (5)$$

$$H_2 = \sum_{k=\lceil \frac{k_T+k_N}{2} \rceil}^{k_T+k_N} \mathbb{P}(T = k) \quad (6)$$

$$H_3 = 1 - \mathbb{P}(T = 0) = 1 - (1 - P_T)^{k_T} (1 - P_D)^{k_N} \quad (7)$$

Começando com um vértice de entrada, o algoritmo o explora, inclui seus vizinhos no conjunto de descobertos (D) e calcula a função heurística (H_1 , H_2 ou H_3) para cada um deles. Dentre todos os vértices pertencentes a D o vértice com o maior valor para a função utilizada (o mais provável de ter a característica) é escolhido como o próximo a ser explorado. Ele então é retirado do conjunto D e incluído no conjunto de vértices explorados (O). Esse processo se repete até se atingir o *orçamento* e o algoritmo retorna o conjunto O . Quanto mais vértices com a característica retornados melhor é a heurística.

Para cada vizinho de um vértice explorado o algoritmo paga um custo $\mathcal{O}(1)$ para atualizar os valores k_T ou k_N mais o custo $\mathcal{O}(H_i)$ para calcular H_i , com $i = 1, 2, 3$. Então, para cada vértice explorado temos um custo $\mathcal{O}(g \cdot H_i)$, onde g é o grau do vértice. Após essas atualizações, é preciso encontrar o vértice com o maior valor para a função heurística no conjunto D . Essa última operação custa $\mathcal{O}(n)$, onde n é o total de vértices no grafo. Logo, para apenas um vértice explorado a complexidade é $\mathcal{O}(g \cdot H_i + n)$. Considerando que o número de vértices explorados é no máximo igual ao *orçamento*, a complexidade do algoritmo é $\mathcal{O}(\text{orçamento} \cdot (g_{\max} \cdot H_i + n))$, onde g_{\max} é o maior grau no grafo.

Para o cálculo de cada uma das heurísticas H_1 e H_3 temos um custo $\mathcal{O}(1)$. Logo, para essas heurísticas, a complexidade do algoritmo é $\mathcal{O}(\text{orçamento} \cdot (g_{\max} + n)) = \mathcal{O}(\text{orçamento} \cdot n)$.

Para H_2 temos um custo $\mathcal{O}(g_{\max}^2)$. Isso ocorre pois na equação de H_2 o somatório interno (Equação 4) tem $\min(k_T, k) - \max(0, k - k_N) + 1$ parcelas. Se $k < k_T$ e $k > k_N$, teremos exatamente $k_N + 1$ parcelas. Se $k < k_T$ e $k < k_N$, teremos exatamente $k + 1$

parcelas. Se $k > k_T$ e $k > k_N$, teremos exatamente $k_T - (k - k_N) + 1$ parcelas. Para todos os casos, teremos até $k_T + 1$ parcelas, que é da ordem do maior grau, $\mathcal{O}(g_{max})$. No somatório externo (Equação 6), no pior caso, teremos metade do maior grau parcelas, que também é $\mathcal{O}(g_{max})$. O que nos dá, $\mathcal{O}(g_{max}^2)$. Logo, a complexidade do algoritmo para H_2 é $\mathcal{O}(orçamento \cdot (g_{max}^3 + n))$.

O algoritmo que citamos anteriormente na Seção 2, MOD, é um algoritmo guloso que busca atingir a maior cobertura possível da rede através das conexões dos vértices com um baixo número de vértices explorados. A cada passo do algoritmo, o próximo vértice a ser explorado será aquele que apresentar o maior grau observado. Para os resultados na Seção 4, o MOD foi adaptado para que ao invés de considerarmos o maior grau observado com critério de escolha, considerarmos o maior número de vizinhos com a característica. Nas nossas definições apresentadas anteriormente isso significa o maior valor de k_T . Nos referenciamos a essa variação do MOD como MOD*.

4. Avaliação

Para a avaliação do desempenho do nosso algoritmo selecionamos três redes reais extraídas de *datasets* disponíveis na *web*. Sobre essas redes, basicamente, calculamos a quantidade de vértices explorados positivos (que possuem a característica) por *orçamento*. Em adição ao nosso algoritmo com as três heurísticas (H_1 , H_2 e H_3), rodamos as buscas desinformadas, Busca em Largura (BFS) e Busca em Profundidade (DFS), e a busca informada MOD*. É importante ressaltar que essas três últimas buscas (BFS, DFS e MOD*) não precisam de parâmetros, enquanto as heurísticas apresentadas nesse trabalho precisam de dois parâmetros, P_T e P_D , derivados de PT , PD e PN . Nessa avaliação utilizamos a linguagem de programação *Python* com o auxílio do módulo *graph-tool*². O código-fonte encontra-se disponível em <https://github.com/freitaspedro/SearchOverGraphs/tree/wperfor>.

4.1. Datasets

Os dois primeiros *datasets* adotados neste trabalho foram utilizados para um estudo sobre detecção de círculos sociais [Leskovec and Krevl 2014]. Enquanto um contém parte da rede do **Facebook**, o outro contém parte da rede do **Google Plus**. Ambos são formados por um conjunto de *egonets*³. Para cada *egonet*, existe uma lista de características em cada vértice, onde os valores 1 e 0 simbolizam a presença ou não da característica. Essa lista, dependendo da *egonet*, pode apresentar até 200 características. Em cada *egonet*, algumas características foram escolhidas de forma que representassem diferentes proporções de valores positivos, frações de tipos de arestas (P_T , P_D e P_N), e P_T e P_D . Nosso interesse é entender o quanto essas disparidades impactam nos resultados. Foram testadas as *egonets* com maior quantidade de vértices tanto para *Facebook* quanto para *Google Plus*.

O último *dataset* utilizado, **PolBlogs**, é parte de um estudo a respeito do comportamento de *blogs* políticos durante a eleição presidencial norte-americana de 2004 [Adamic and Glance 2005]. O *dataset* é composto por *hiperlinks* entre os *blogs*,

²*Graph-tool* é um módulo *Python* eficiente para manipulação e análise estatística de grafos (<https://graph-tool.skewed.de/>).

³*Egonets* são redes centradas em um indivíduo, com suas arestas para seus vizinhos, e as possíveis arestas entre os vizinhos.

onde um *hyperlink* se trata da referência de uma página a outra. Esse *dataset* traz como característica a inclinação política dentro do contexto daquele país. Nos vértices com valor 0, temos os *blogs* com inclinação à esquerda (ou liberais). Nos vértices com valor 1, temos os *blogs* com inclinação à direita (ou conservadores).

4.2. Resultados

Para a avaliação dos algoritmos foi considerada a média amostral de 20 rodadas (com inicialização aleatória e uniforme) da quantidade de vértices explorados com a característica escolhida. O *orçamento* é aumentado gradualmente até que chegue em torno da metade do total de vértices da rede. Os vértices escolhidos aleatoriamente em cada rodada são mantidos para todos os *orçamentos* e todos os algoritmos em cada rede, e devem pertencer a maior componente conexa caso a rede não seja conexa. Para todos os experimentos, as quantidades totais de vértices explorados atingiu os *orçamentos* disponíveis.

A Tabela 1 apresenta algumas propriedades das redes usadas em nossa avaliação.

Dataset	Vértices	Arestas	Grau Médio	Diâmetro	Clusterização Global
Facebook	747	60050	160,776	7	0,697
Google Plus	4872	416992	171,179	6	0,248
PolBlogs	1490	19090	25,624	8	0,251

Tabela 1. Propriedades das redes⁴

4.2.1. Facebook

Para a *egonet* do *Facebook* consideramos duas características, que chamaremos de *A* e *B*. Se tratam de características anônimas e os seus significados não afetariam o objetivo da nossa avaliação.

A distribuição do tipo das arestas (P_T , P_D e P_N), e as probabilidades P_T e P_D , para cada uma dessas 2 características podem ser vistas na Tabela 2. Na Tabela 2, ainda temos a quantidade de positivos, que é o mesmo que a quantidade de vértices com rótulo *T* dada uma característica.

Característica	P_T	P_D	P_N	P_T	P_D	Positivos
A	0,047	0,231	0,722	0,061	0,832	63 (8%)
B	0,133	0,413	0,454	0,226	0,757	222 (29%)

Tabela 2. Distribuição do tipo de arestas - *Facebook*

Na Figura 4 temos o desempenho dos algoritmos de busca para a característica *A*. Como pode ser visto, a BFS tem um desempenho ruim, porém ainda consegue se sair melhor que a H_1 . Isso ocorre pois na equação usada em H_1 (Equação 5) conforme os valores de k_T e k_N crescem ela se aproxima de 0 rapidamente. Até chegar em um momento

⁴Os diâmetros das *egonets* não são de tamanho igual a 2 pois as arestas incidentes no vértice ego foram desconsideradas a fim de dificultar o processo de busca.

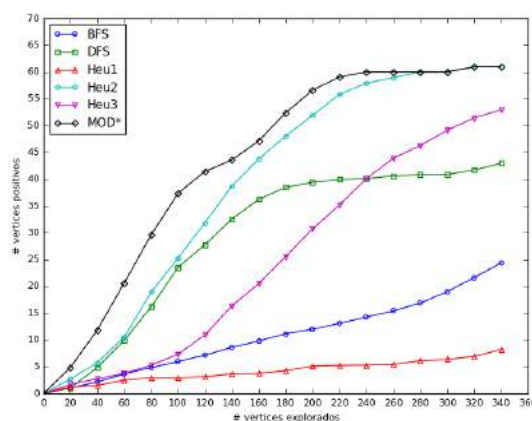


Figura 4. Desempenho dos algoritmos de busca para a característica A - Facebook

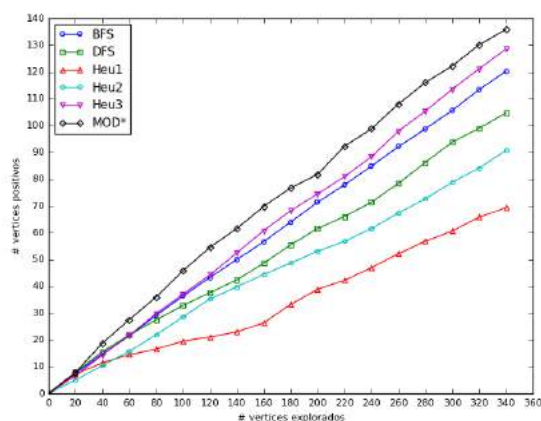


Figura 5. Desempenho dos algoritmos de busca para a característica B - Facebook

em que k_T e k_N são grandes o suficiente para transformar a H_1 em quase uma busca aleatória, e como a porcentagem de positivos é apenas 8% isso justifica seu desempenho ruim. Para a H_3 ocorre o contrário, conforme os valores de k_T e k_N crescem, sua equação (Equação 7) se aproxima de 1. Contudo, isso não impacta tanto o desempenho da H_3 , que a partir 100 vértices explorados tem um crescimento significativo. Como já se esperava a H_2 tem um bom desempenho, perdendo, surpreendentemente, apenas para o MOD*, que possui uma heurística muito simples. Essas duas últimas buscas acabam por convergir a partir de 280 vértices explorados.

A busca pela característica B resulta em um gráfico com os desempenhos das buscas se resumindo basicamente a retas com diferentes inclinações, conforme pode ser visto na Figura 5. Novamente temos a MOD* com o melhor desempenho, porém ela não consegue se distanciar tanto assim das outras buscas. A H_3 e BFS vêm em seguida, ganhando por exemplo da H_2 que para essa característica tem um resultado ruim. Esse baixo desempenho pode ser justificado, em parte, por conta de P_D assumir um alto valor (aprox. 0,413), o que atrapalha na capacidade da heurística em prever relações que influenciem na presença da característica em um vértice.

4.2.2. Google Plus

A rede do *Google Plus* também é uma *egonet* assim como no caso do *Facebook* e por isso elas são muito parecidas estruturalmente. Entretanto, ela tem oito vezes mais vértices que a do *Facebook*. Esse aumento significativo da rede é importante para observarmos o desempenho dos algoritmos de busca em redes maiores.

A distribuição do tipo das arestas, as probabilidades P_T e P_D e a porcentagem de positivos para cada uma das 2 características escolhidas podem ser vistas na Tabela 3.

No gráfico na Figura 6 temos o desempenho dos algoritmos de busca para a característica A que ocorre em aproximadamente 72% dos vértices da rede. Esse alto percentual faz com que as diferentes técnicas de busca tenham um resultado extremamente

Característica	P_T	P_D	P_N	P_T	P_D	Positivos
A	0,594	0,342	0,064	0,903	0,365	3528 (72%)
B	0,007	0,102	0,891	0,008	0,935	247 (5%)

Tabela 3. Distribuição do tipo de arestas - Google Plus

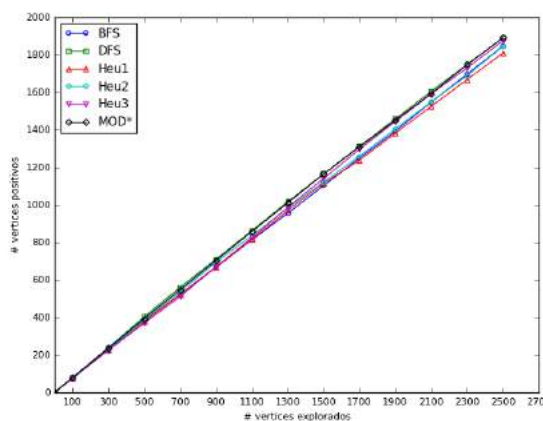


Figura 6. Desempenho dos algoritmos de busca para a característica A - Google Plus

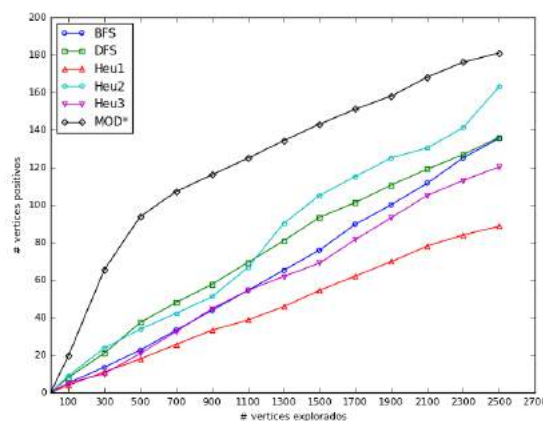


Figura 7. Desempenho dos algoritmos de busca para a característica B - Google Plus

parecido. Devido à abundância de vértices com a característica buscada, qualquer busca consegue encontrar esses vértices com certa facilidade.

Quando existe proporcionalmente poucos vértices explorados, os valores das funções heurísticas para os vértices são muito semelhantes ou até mesmo iguais, o que faz com que o próximo vértice a ser explorado seja escolhido de forma quase aleatória. Conforme se percorrem mais vértices, acumula-se informação a respeito do surgimento da característica, consequentemente os valores de heurística são mais afiados para que se tome a decisão correta. No caso da característica B (Figura 7), isso pode ser observado no comportamento da curva de desempenho da H_2 , que no início tem um crescimento parecido com o das outras buscas, mas que a partir de 1100 vértices explorados (quase 1/4 do número total de vértices) consegue atingir os melhores segundos resultados.

4.2.3. PolBlogs

Essa rede, apresentada em [Adamic and Glance 2005], possui apenas uma característica como dito anteriormente. Contudo, a apresentação do seu resultado traz uma importante confirmação a respeito do impacto da distribuição de arestas na eficiência do algoritmo proposto, e também é relevante por trazer um rede mais “rica” que as anteriores que eram centradas em indivíduos (*egonets*).

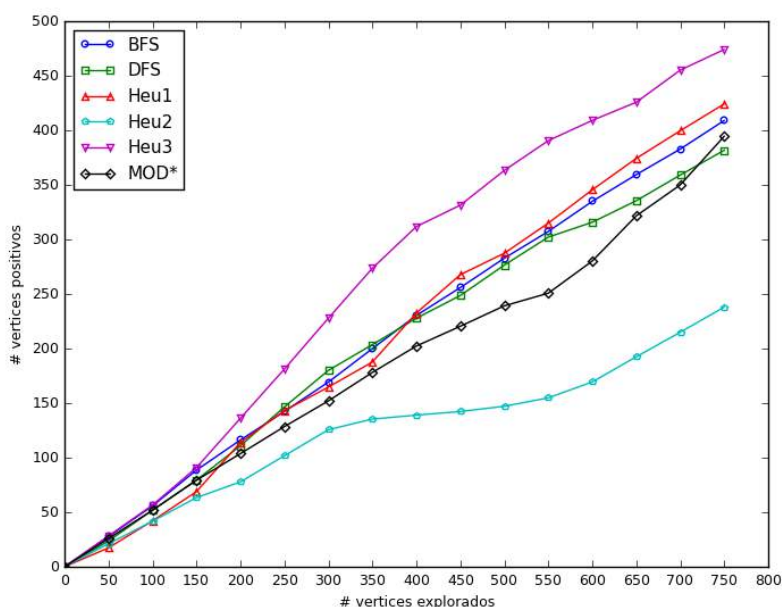
Na Tabela 4 podem ser vistas a distribuição do tipo das arestas, as probabilidades P_T e P_D e a quantidade positivos para essa rede.

Para a característica A nessa rede de *blogs*, que representa a inclinação política de

Característica	P_T	P_D	P_N	P_T	P_D	Positivos
A	0,471	0,089	0,440	0,517	0,158	732 (49%)

Tabela 4. Distribuição do tipo de arestas - *PolBlogs*

cada *blog*, as diversas técnicas de busca têm desempenhos parecidos até mais ou menos 150 vértices explorados (Figura 8). Depois desse ponto se destacam o bom desempenho da H_3 e o mau desempenho da H_2 . O fato dessa rede ser formada por dois grandes *clusters* - um com os *blogs* de esquerda e outro com os *blogs* de direita - e a busca ser feita em cima dos *blogs* de direita, nos dão dicas do porquê desse comportamento. Relembrando, a H_3 para calcular a probabilidade de um vértice ter a característica considera que o evento ‘ter a característica’ tem que ocorrer em pelo menos uma das arestas. H_3 se encaixa bem nessa rede em que a correlação entre a presença da característica e a presença de uma aresta é alta - uma vez dentro do *cluster* dos *blogs* de direita é difícil sair. H_2 é mais rígida e considera a maioria das arestas, isso pode ser um problema quando o algoritmo percorre os vértices nos extremos dos *clusters*, por isso o mau desempenho. Isso também pode ter ocorrido no MOD* que não conseguiu um bom desempenho como nos outros experimentos, tendo inclusive desempenho inferior às buscas desinformadas.

Figura 8. Desempenho dos algoritmos de busca - *PolBlogs*

5. Conclusão

Neste artigo apresentamos um modelo probabilístico que utiliza a homofilia da rede para determinar a probabilidade de um vértice possuir uma determinada característica em função das características dos seus vizinhos conhecidos e da distribuição dos tipos de arestas da rede. Três variações do modelo foram utilizadas por um algoritmo de busca informado, que explora a rede de forma iterativa. O objetivo do algoritmo é encontrar

o maior número de vértices com uma determinada característica dentro de um número limitado de vértices que podem ser explorados.

A avaliação do algoritmo em três redes reais, utilizando diferentes características, e a comparação do desempenho com outros algoritmos, indicam o potencial e a fragilidade da metodologia proposta. Em particular, nenhuma abordagem testada se mostrou consistentemente superior, considerando todos os cenários avaliados. O desempenho do algoritmo MOD* foi melhor nas *egonets* de redes sociais, cuja heurística é simples e pode ser calculada rapidamente. Mas dependendo da característica, houve o empate entre diversos algoritmos. Por outro lado, uma das variações do modelo proposto (H_3) teve desempenho bem superior na rede de *blogs* onde os vértices possuem inclinação política, cenário no qual a heurística MOD* tem desempenho pior que buscas desinformadas.

Os resultados empíricos indicam que o problema de encontrar vértices com determinadas características em redes não tem fácil solução que possa ser generalizada, apresentando bom desempenho em todos os casos. De fato, esta observação também foi feita em um recente trabalho, que utiliza e mistura diversos métodos distintos em uma única proposta [Murai et al. 2017]. Deixamos como trabalho futuro o melhor entendimento do problema e das características da rede que possam ser exploradas para elucidar um algoritmo generalizado.

Referências

- Adamic, L. A. and Glance, N. (2005). The political blogosphere and the 2004 US Election. In *Proceedings of the WWW-2005 Workshop on the Weblogging Ecosystem*.
- Avrachenkov, K., Basu, P., Neglia, G., and Ribeiro, B. (2014). Pay Few, Influence Most: Online Myopic Network Covering. In *Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPs), 2014 IEEE Conference on*.
- Bnaya, Z., Puzis, R., Stern, R., and Felner, A. (2013). Bandit algorithms for social network queries. In *Social Computing (SocialCom), 2013 International Conference on*, pages 148–153. IEEE.
- Bondy, J. A. and Murty, U. S. R. (1976). *Graph Theory with Applications*. Macmillan/Elsevier, 5 edition. ISBN 0-44-19451-7.
- Garnett, R., Krishnamurthy, Y., Xiong, X., Schneider, J., and Mann, R. (2012). Bayesian optimal active search and surveying. In *International Conference on Machine Learning, ACM*, pages 1239–1246.
- Leskovec, J. and Krevl, A. (2014). SNAP Datasets: Stanford large network dataset collection. <http://snap.stanford.edu/data>.
- Ma, Y., Huang, T.-K., and Schneider, J. G. (2015). Active Search and Bandits on Graphs using Sigma-Optimality. In *Conference on Uncertainty Artificial Intelligence*, pages 542–551.
- Murai, F., Renno, D., Ribeiro, B., Gisele, P., Towsley, D., and Gile, K. (2017). Selective Harvesting over Networks. *arXiv preprint arXiv:1703.05082*.
- Netto, P. O. B. (1996). *Grafos: teoria, modelos, algoritmos*. Edgard Blücher.
- Pfeiffer, J. J., Neville, J., and Bennett, P. (2012). Active sampling of networks. In *Workshop on Mining and Learning with Graphs*.

- Russel, S. and Norvig, P. (2003). Artificial intelligence: A modern approach. *EUA: Prentice Hall*.
- Wang, X., Garnett, R., and Schneider, J. (2013). Active Search on Graphs. In *ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, pages 731–738. ACM.
- Xie, P., Zhu, J., and Xing, E. P. (2016). Diversity-promoting bayesian learning of latent variable models. In *International Conference on Machine Learning*.

Um Mecanismo de *Offloading* de Dados com Tomada de Decisão

Joari S. L. Filho, Manuel G. da S. Neto, Paulo A. L. Rego, Danielo G. Gomes

¹Universidade Federal do Ceará (UFC)
Grupo de Redes de Computadores, Engenharia de Software e Sistemas (GREat)
Av. Mister Hull, s/n – Campus do Pici – Bloco 942-A
60455-760 – Fortaleza – CE – Brasil

{joarilima, manuelsingilva, paulo.rego, dgomes}@great.ufc.br

Abstract. *In the mobile cloud computing paradigm, offloading techniques are used to augment computation and power capacities of mobile devices as well as to reduce the execution time of tasks. In this paper, we propose a data offloading mechanism that selects and migrates files to a local infrastructure (cloudlet), assisting computation offloading frameworks to reduce the amount of data sent over the network. The mechanism uses the application methods execution history, as well as the network condition, to create decision trees that help deciding when and which files used by these methods should be transferred. The experiments results indicate that our mechanism reduces the processing offloading time by up to 19.5%.*

Resumo. *No paradigma de mobile cloud computing, as técnicas de offloading permitem a extensão das capacidades energética e computacional de dispositivos móveis, bem como a redução do tempo de execução de procedimentos. Neste artigo, propomos um mecanismo de offloading de dados que seleciona e migra arquivos para uma infraestrutura local (cloudlet) auxiliando os frameworks de offloading de processamento a reduzirem a quantidade de dados enviados pela rede. O mecanismo utiliza-se do histórico de execuções dos métodos dos aplicativos, assim como das condições da rede, para criar árvores de decisão que auxiliam na deliberação de quando e quais arquivos utilizados por estes métodos devem ser transferidos. Os resultados dos experimentos indicam que a utilização do mecanismo proposto reduz o tempo do offloading de processamento em até 19,5%.*

1. Introdução

Uma das características que contribuíram para a popularidade dos dispositivos móveis, em especial os *smartphones* é o suporte a um grande número de aplicativos, tais como jogos, comércio eletrônico e redes sociais *on-line*. No entanto, apesar destes aplicativos estarem cada vez mais exigentes em termos de processamento, armazenamento e banda, as melhorias no *hardware* dos dispositivos móveis e na vida útil das suas baterias não têm acompanhado a crescente demanda por recursos computacionais [Khan et al. 2014]. Diante destes obstáculos, uma das soluções em perspectiva é migrar o processamento e o armazenamento dos dados para dispositivos remotos ou nuvens computacionais [Kemp et al. 2009].

Neste contexto, um dos benefícios providos pela computação móvel em nuvem (*Mobile Cloud Computing*, MCC) é o uso das nuvens, as quais disponibilizam serviços para a expansão das capacidades físico-computacionais dos dispositivos móveis [Schüring 2011, Dinh et al. 2013]. Através da MCC, os dispositivos móveis podem expandir seus recursos de processamento, memória, armazenamento e melhorar sua autonomia energética [Khan et al. 2014]. A migração das tarefas de processamento de um dispositivo móvel para uma nuvem computacional remota ou para uma infraestrutura computacional de alcance local é conhecida por *offloading* de processamento ou *cyber foraging* [Kumar et al. 2013].

Em [Lewis and Lago 2015] foi realizada uma revisão sistemática para identificar e classificar os trabalhos de *offloading* de processamento e de dados sob o ponto de vista arquitetural. Eles executaram uma *string* de busca em setembro de 2013 na base *Google Scholar*, a qual retornou 430 resultados¹. Nós executamos a mesma *string* de busca em novembro de 2016, cujo retorno foi de 2.770 resultados, i.e. um aumento de mais de 540% com relação ao artigo de [Lewis and Lago 2015]. Apesar da realização de uma revisão sistemática estar fora do escopo do trabalho aqui proposto, tal aumento indica interesse no tema e presença de problemas ainda em aberto.

Para que o *offloading* economize energia ou reduza tempo de execução das tarefas, de acordo com [Kumar et al. 2013], é necessário avaliar as características instantâneas da rede em que o dispositivo móvel está inserido, o poder de processamento (MFLOPS) dos dispositivos envolvidos na operação e a quantidade de dados em potencial de migração. Um sistema de *offloading* eficiente é aquele capaz de inferir onde uma tarefa computacional deve ser executada (se local ou remotamente) de modo que o dispositivo móvel economize seus recursos computacionais [Flores et al. 2015].

Neste sentido, uma das possíveis alternativas para diminuir a quantidade de dados transferidos durante o *offloading* de processamento é o seu emprego conjunto com mecanismos de *offloading* de dados [Lewis and Lago 2015]. Através destes mecanismos, os dispositivos móveis migram seu dados para uma infraestrutura computacional local (*cloudlet*) a qual funciona como um intermediário entre o dispositivo móvel e a nuvem remota. Entretanto, notamos que os atuais *frameworks* de *offloading* de dados normalmente não filtram quais dados devem ser migrados para uma *cloudlet*, i.e. apesar deles decidirem quando migrar os dados, não avaliam o que devem migrar [Lewis and Lago 2015].

Neste artigo, propomos um mecanismo de *offloading* de dados com tomada de decisão que leva em consideração as condições momentâneas da rede e o histórico de execuções dos métodos de aplicativos para selecionar quais arquivos do dispositivo móvel devem ser migrados para uma *cloudlet*. O mecanismo se utiliza de árvores de decisão para escolha de quais arquivos e de quando estes arquivos devem ser migrados. Os arquivos selecionados para a migração variam dependendo dos aplicativos utilizados e das diferentes condições de rede.

2. Trabalhos Relacionados

Atualmente, encontra-se na literatura uma variedade de estudos abordando *offloading*, seja ele de processamento ou de dados [Ali et al. 2016], [Silva Jr. et al. 2015], [Enzai

¹<https://www.andrew.cmu.edu/user/gritter/slr-online-material.pdf>

and Tang 2014], [Fernando et al. 2013], [Kumar et al. 2013], [Chun et al. 2011], [Cuervo et al. 2010] e [Satyanarayanan et al. 2009].

Em [Kumar et al. 2013] foi realizado um estudo do impacto das tarefas de *offload* no desempenho global do sistema. Foi apresentado um modelo analítico que propõe responder *quando* que a realização do *offloading* de processamento seria realmente viável levando em conta uma visão global do dispositivo móvel e do processo de *offloading*. As equações propostas em seu modelo assumem que mesmo no *offload* voltado a melhoria do processamento, uma quantidade significativa de dados deve ser transferida do dispositivo móvel para o dispositivo remoto. O artigo aqui proposto utilizou-se da mesma ideia geral de [Kumar et al. 2013], onde se aponta a possibilidade de realizar previamente o *offloading* dos dados envolvidos nas tarefas de processamento remoto, diminuindo assim esta sobrecarga.

Em [Hung et al. 2012] foi proposto um *framework* para execução de aplicações móveis em um ambiente virtual na nuvem. Um agente instalado no dispositivo local e no ambiente virtualizado se responsabiliza por orquestrar a sincronização dos dados necessários para correta execução da aplicação na nuvem. Para diminuir a sobrecarga na transferência dos dados os agentes obtêm de forma prévia informações apenas do estado do dispositivo móvel e do dispositivo virtualizado. Estas informações são então utilizadas para elencar quais dados devem efetivamente passar pelo *offloading*.

Em [Gomes et al. 2016] foi proposto um serviço de *offloading* de dados com suporte à privacidade a fim de realizar a disseminação de dados contextuais entre os dispositivos móveis e o ambiente da nuvem. Esse serviço se utiliza do conceito de *cloudlets* apresentado em [Satyanarayanan et al. 2009] para permitir essa disseminação. O serviço realiza *offloading* de processamento e faz uma tomada de decisão pela execução ou não na nuvem a fim de melhorar o desempenho da aplicação que é realizada com uso de métricas de rede. Ele se utiliza de informações como a qualidade de conexão entre o dispositivo móvel e o servidor remoto, ou seja, a latência da conexão para mensurar a viabilidade das tarefas de *offloading*.

Nos trabalhos aqui citados, a problemática da sobrecarga adicional gerada pela transferência dos dados necessários durante as tarefas de *offloading* de processamento foi tratada utilizando a ideia de disponibilizar tais dados de forma prévia, a fim de obter um ganho de desempenho global. O mecanismo que propomos possui dois diferenciais: (i) Adicionou-se uma tomada de decisão antes do *offloading* de dados, a qual é feita tomando por base uma árvore de decisão. Esta árvore é criada na infraestrutura local (*cloudlet*) a partir do histórico de execuções local (dispositivo móvel) e remota (*cloudlet*); (ii) o *offloading* de dados é utilizado em conjunto com o *offloading* de processamento com intuito de melhorar o seu desempenho global. Este processo, alinhado ao mecanismo de tomada de decisão adotado, são os diferenciais deste artigo.

3. O Mecanismo Proposto

Neste trabalho, o mecanismo de *offloading* de dados objetiva auxiliar no *offloading* de processamento. Para isto, é realizada a persistência de arquivos que são utilizados como parâmetros na chamada de métodos dos aplicativos móveis. Nesta fase de desenvolvimento do mecanismo não foi implementada a comunicação com a nuvem, se restringindo apenas aos dispositivos que estão na rede local.

O desenvolvimento do mecanismo resultou em 2 (dois) aplicativos. O primeiro, chamado de *FileOffApi*, deve ser executado em um dispositivo móvel, e o segundo, chamado de *FileOffCloudlet*, deve ser executado em um *cloudlet* (como um *desktop*). Para que o mecanismo desempenhe sua função, os dois aplicativos precisam se comunicar periodicamente e a infraestrutura de comunicação utilizada foi a conexão Wi-Fi entre os dois dispositivos, neste caso, entre o dispositivo móvel e a infraestrutura local.



Figura 1. Arquitetura do mecanismo proposto. Módulos do dispositivo móvel e da cloudlet.

O mecanismo de *offloading* de dados precisa estar integrado a um *framework* que faça *offloading* de processamento para que a estrutura como um todo entre em funcionamento. Ele foi organizado de forma que, é necessária a integração com o código fonte do *framework* para *offloading* de processamento que se deseja auxiliar. Utilizamos o *framework* MpOS [Costa et al. 2015] na integração, pois, além de prover a funcionalidade de *offloading* de processamento, este possui os módulos que fazem o monitoramento da rede e o processo de descoberta de serviço que é necessário para o mecanismo. A utilização do MpOS é representada na Figura 1 pelo retângulo com linhas tracejadas.

Para o funcionamento do mecanismo, além da implementação do código responsável pelo *offloading* dos dados, foi necessário o desenvolvimento ou reuso de funcionalidades existentes em outros *frameworks*. Além do uso do *framework* MpOS [Costa et al. 2015], foram utilizados os trabalhos [Rego et al. 2017] e [Gomes et al. 2017] para a criação da árvore de decisão e sua sincronização com o dispositivo móvel. A Figura 1 exibe a arquitetura, dividida em módulos, utilizada para a integração dessas funcionalidades.

Na Figura 1 os módulos desenvolvidos especificamente para este trabalho estão na cor preta. Os módulos que foram alterados (cor cinza) e os legados (cor branca) foram retirados de *frameworks* já existentes, conforme foi apresentado. O funcionamento dos módulos são explicados em detalhes a seguir.

O funcionamento do mecanismo começa com os módulos de descoberta que são

responsáveis pela busca e registro em um serviço de *offloading* de dados que está em execução em uma rede local. Em seguida, os módulos de monitoramento trocam dados para aferirem as condições da rede: *Round Trip Time* (RTT), taxa de *Upload* e taxa de *Download*. A aferição desses dados é feita periodicamente a cada 60 segundos e seus valores são armazenados e compartilhados entre o dispositivo móvel e a *cloudlet*.

Os arquivos envolvidos na operação de *offloading* são identificados através da função *hash* criptográfica SHA1. Para cada arquivo é gerada sua função *hash* utilizando como entrada os bytes que compõem o próprio arquivo.

O módulo **Métodos e Arquivos Indexados** é responsável por listar todos os arquivos, junto com suas funções *hash*, que estão em um diretório definido pelo usuário do mecanismo. Esse módulo mantém duas listas que relacionam os arquivos que estão apenas no dispositivo móvel e os arquivos que já foram transferidos para a *cloudlet*. Outra função desse módulo é manter a listagem dos métodos que foram invocados. O módulo **Cliente de Migração de Dados** faz a conexão com a *cloudlet* através do módulo **Serviço de Migração de Dados** para a transferência dos arquivos. Além de enviar os arquivos, o módulo de transferência também tem a função de sincronizar a lista de arquivos que foram enviados para a *cloudlet*. Na *cloudlet* há o módulo **Persistência de Arquivos** que armazena os arquivos recebidos.

É necessário inspecionar os parâmetros passados para um método e verificar se os arquivos presentes nos parâmetros estão disponíveis na *cloudlet*. Caso essa situação seja verdadeira, o arquivo que seria transferido junto com o método é substituído por um identificador (função *hash*). Quando a invocação do método, junto com os parâmetros, chega à *cloudlet*, o identificador do arquivo é substituído pelo arquivo e a execução do método prossegue normalmente. O módulo **Cliente de Intercepção de Arquivos** inspeciona os parâmetros dos métodos e verifica no módulo **Métodos e Arquivos Indexados** se o arquivo passado nos parâmetros já está na *cloudlet*. O módulo **Serviço de Intercepção de Arquivos** inspeciona os parâmetros do método que chegou na *cloudlet* e substitui o identificador pelo arquivo depois de solicitar ao módulo **Persistência de Arquivos** o arquivo correspondente ao identificador informado.

Os módulos **Monitor de Execução Local** e **Monitor de Execução Remota** são responsáveis pelo monitoramento do tempo de execução de métodos que são executados no dispositivo móvel e na *cloudlet*, respectivamente. Eles calculam quanto tempo decorreu desde a chamada de um método até seu término. O módulo **Monitor de Execução Remota**, além de fazer a medição do tempo de execução, junta esses dados com as condições da rede no momento da medição. As condições da rede são obtidas através do módulo **Serviço de Monitoramento da Rede** que detalhamos anteriormente.

As informações obtidas pelos módulos de monitoramento são persistidas em uma base de dados que armazena o histórico de execuções dos métodos. Essas informações são utilizadas para o treinamento da árvore. Para que essas informações cheguem à base de dados, foram utilizados dois módulos do trabalho [Gomes et al. 2017]: o **Cliente de Sincronização de Execuções** e o **Serviço de Sincronização de Execuções**. O primeiro módulo obtém os tempos de execuções dos métodos executados no dispositivo móvel e se comunica com o segundo módulo para repassar as novas informações. O módulo **Serviço de Sincronização de Execuções** recebe as informações do módulo **Cliente de**

Sincronização de Execuções e também é responsável por receber os tempos de execuções dos métodos executados na *cloudlet*. A persistência na base de dados é feita pelo módulo **Serviço de Sincronização de Execuções**.

3.1. Tomada de decisão e criação da árvore

O processo de criação da árvore de decisão foi introduzido em [Rego et al. 2017] e adaptado neste trabalho. O **Serviço de Criação da Árvore de Decisão** utiliza o tempo de execução dos métodos no dispositivo móvel e o tempo de execução na *cloudlet* (capturado pelo **Serviço de Sincronização de Execuções**) para classificar cada instância do histórico de execuções de *offloading* entre as classes *Local* e *Cloudlet* (Figura 2 (I)). Tais classes indicam que, em condição de rede similar, o método deve ser executado, respectivamente, no dispositivo móvel ou na *Cloudlet*.

Uma vez que as instâncias são classificadas, os dados formam o conjunto de treinamento (típico de algoritmos de aprendizagem supervisionados) que é utilizado para gerar a árvore de decisão. Como o processo de aprendizagem de árvores de decisão depende do conjunto de treinamento, o número de instâncias do conjunto pode afetar o poder de generalização e precisão da árvore de decisão. Assim, antes de criar a árvore de decisão, o algoritmo analisa o histórico de execuções e considera diferentes condições de rede (Figura 2 (II)) para criar novas instâncias para o conjunto de treinamento (e.g., considerando redes com a metade da taxa de download/upload).

Dentre os diversos algoritmos para construção de árvores de decisão (e.g. ID3, C4.5 e CART), a seleção do atributo mais útil para classificar as instâncias é um fator crítico de escolha. Neste artigo utilizamos as árvores C4.5, que baseiam-se na *information gain*, uma propriedade estatística da teoria da informação, a qual permite a seleção do melhor atributo para dividir o conjunto de treinamento [Quinlan 1993]. C4.5 foi escolhida porque seu algoritmo lida tanto com atributos categóricos (ordinais ou não-ordinais), como com atributos contínuos, além de gerar árvores não necessariamente binárias (diferente do CART) e alcançar ótimos resultados em problemas de classificação. Tais características, fazem do C4.5 um dos algoritmos de árvore de decisão mais utilizados na literatura [Wu et al. 2008].

Uma vez que o conjunto de treinamento está pronto, uma árvore C4.5 é criada utilizando o algoritmo J48 da biblioteca Java Weka² (Figura 2 (III)). A Figura 2 apresenta um exemplo de árvore de decisão de *offloading* para a aplicação "Dummy". Neste exemplo, se a taxa de upload for igual a 300 Kbps, o método m1 deve ser executado no dispositivo móvel. Além disso, independente das métricas, o método m2 deve ser executado na *Cloudlet*.

O módulo **Serviço de Criação da Árvore de Decisão** periodicamente verifica na base de dados se há novas medições. Nem sempre a inclusão de novas medições vai mudar a estrutura da árvore de decisão, no entanto, quando ocorre esta mudança é preciso notificar o módulo **Sincronização da Árvore de Decisão** e junto com a notificação enviar a nova árvore de decisão.

A tomada de decisão ocorre no módulo **Tomada de Decisão**. Inicialmente, faz-se acesso ao módulo **Métodos e Arquivos Indexados** em busca dos arquivos que estão ape-

²Weka website: <http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka>.

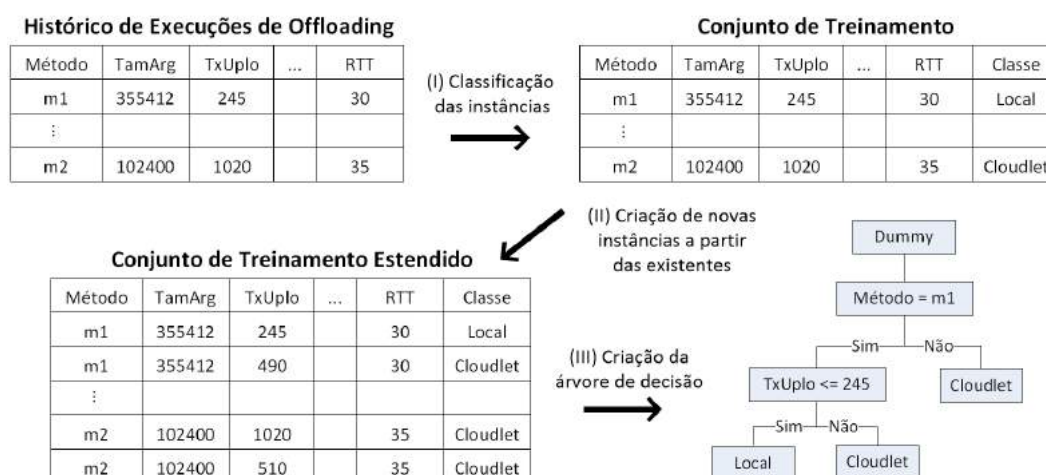


Figura 2. Exemplo de árvore de decisão de *offloading*.

nas no dispositivo móvel e os métodos que podem ser executados (*offloaded*) na *cloudlet*. Em seguida, o módulo **Sincronização da Árvore de Decisão** é acessado e é solicitada a última árvore de decisão disponível. O próximo passo é solicitar ao módulo **Cliente de Monitoramento da Rede** as condições da rede. Em posse desses dados, são passadas para árvore de decisão as condições da rede junto com o tamanho de cada arquivo no dispositivo móvel e os métodos que podem executados na *cloudlet*. Com essas informações a árvore é capaz de inferir se um arquivo deve ou não ser migrado para a *cloudlet*.

A tomada de decisão resulta na listagem dos arquivos que devem ser migrados para a *cloudlet*. Essa listagem é passada para o módulo **Cliente de Migração de Dados** que faz o *offloading* dos arquivos, como explicado anteriormente.

4. Material e Métodos

Os filtros de imagem utilizados pertencem à biblioteca de código aberto PhotoFilter³, a qual possui 30 filtros. Essa biblioteca foi utilizada nos experimentos por dar suporte a versões antigas do sistema operacional Android (versão 2.3 e superiores) e pela disponibilidade do código fonte online. Para nossos experimentos foram usados somente os filtros *Inverter*, *Snow*, *Emboss* e *Engrave* devido aos seus tempos de execução em comparação aos outros da biblioteca. Entre os 30 filtros disponíveis, os filtros *Inverter* e *Snow* foram os que apresentaram menor tempo para serem executados, já os filtros *Emboss* e *Engrave* foram os que demandaram mais tempo.

Além de utilizar os filtros de imagem, o aplicativo é capaz de migrar as fotos que estão no dispositivo móvel para a *cloudlet* e de executar os filtros tanto no dispositivo móvel quanto na *cloudlet* com a API do *framework* MpOS [Costa et al. 2015]. Os filtros do aplicativo necessitam que arquivos de imagem sejam passados como parâmetros. Para verificar como o tempo de execução dos filtros variavam de acordo com o tamanho dos arquivos, foram utilizados 10 arquivos com tamanhos distintos.

Para que o mecanismo proposto fosse capaz de decidir quais arquivos deveriam ser migrados, foram coletados os tempos de execução dos filtros. Os filtros foram executados

³Código Fonte PhotoFilter: <https://github.com/mukeshsolanki/photofilter>

em um dispositivo móvel e também em uma *cloudlet* (detalhes na Tabela 1). Os tempos de execução foram salvos em um banco de dados com o histórico de todas as execuções.

Tabela 1. Detalhes do ambiente de testes.

DISPOSITIVOS	HARDWARE			SOFTWARE
Dispositivo Móvel Smartphone Samsung Galaxy S6 (SM-G920i)	Processador Quad-core 1.5 GHz Cortex-A53 + Quad-core 2.1 GHz Cortex-A57	RAM 3GB	WIFI 802.11 a/b/g/n/ac	Android 5.0 TouchWiz UI Lollipop
Cloudlet Ultrabook Samsung (NP53U3B-AD1BR)	Processador Intel® Core™ i5-2467M	RAM 8GB	WIFI 802.11 b/g/n	Windows® 7 Home Premium Original 64 Bits
Roteador DLink DSL-2740E	WIFI 802.11 b/g			

Nas subseções a seguir, são descritos os estudos de caso utilizados na validação do mecanismo.

4.1. Experimento #1: Ganho de tempo com o *offloading* de dados

O primeiro experimento consistiu na implementação do *offloading* de dados e seu teste em um ambiente real. Para o teste foram utilizados os dispositivos descritos na Tabela 1. O objetivo deste experimento é verificar se a operação de *offloading* de dados resulta em ganho de tempo para o usuário quando é feito o *offloading* de processamento dos filtros de imagem.

Tabela 2. Métrica e fatores utilizados no experimento de tempo de execução de métodos na *cloudlet*

MÉTRICA	DETALHES										
Tempo do <i>Offloading</i> de Processamento	Tempo em milissegundos para o <i>offloading</i> de processamento dos métodos de filtro de imagem										
FATORES	NÍVEIS	DETALHES									
Métodos de Filtro de Imagem	4	Filtro ApplySnow	Filtro Inverter	Filtro Emboss	Filtro Engrave						
Tamanhos de Arquivos	10	25KB	90KB	192KB	342KB	524KB	870KB	1,2MB	1,5MB	1,9MB	4,2MB
Largura Máxima de Banda	2	4Mbps	8Mbps								
<i>Offloading</i> de Dados	2	Ativado	Desativado								
15 Repetições	x	160 testes									

As etapas do Experimento #1 são ilustradas na Figura 3 e iniciam na etapa 1 onde os arquivos de imagem que estão no dispositivo móvel são migrados para a *cloudlet*. Em seguida, na etapa 2, o dispositivo móvel faz o *offloading* de processamento dos filtros de imagem e passa como parâmetros as referências das imagens que foram migradas na etapa 1. Por fim, na etapa 3, o dispositivo móvel faz novamente o *offloading* de processamento dos filtros de imagem, porém, dessa vez, são passadas as imagens ao invés das referências. Para verificar se houve ganho de tempo, foi comparado o tempo gasto para fazer o *offloading* de processamento quando o mecanismo de *offloading* de dados estava ativado (Figura 3, etapa 2) com o tempo gasto quando o mecanismo estava desativado (Figura 3, etapa 3).



Figura 3. Etapas do Experimento #1.

A métrica e fatores utilizados para a execução do Experimento #1 estão descritos na Tabela 2. Além de serem utilizados 4 métodos de filtro de imagem e 10 arquivos de imagem de tamanhos distintos, foram utilizadas duas larguras de banda para verificar o quanto a vazão da rede impactou no tempo para se realizar o *offloading* de processamento. Por último, variou-se a ativação do mecanismo proposto para verificar em que situação o *offloading* de processamento se beneficiou do mecanismo e apresentou menor tempo. Foram realizados 160 testes e para cada teste foram feitas 15 repetições.

4.2. Experimento #2: Tempo de execução no dispositivo móvel e na *cloudlet*

O segundo experimento tem o objetivo de comparar os tempos obtidos no Experimento #1 (execução na *cloudlet*) com o tempo de execução dos mesmos métodos no dispositivo móvel. Como a tomada de decisão do mecanismo depende do histórico de execuções tanto no dispositivo móvel quanto na *cloudlet*, então, com este experimento, foi possível analisar quando o *offloading* de dados seria benéfico. A métrica e os fatores utilizados no experimento estão descritos na Tabela 3.

Tabela 3. Métrica e fatores utilizados no experimento de tempo de execução de métodos no dispositivo móvel.

MÉTRICA	DETALHES										
Tempo de Execução no Dispositivo Móvel	Tempo em milissegundos para a execução dos métodos de filtro de imagem										
FATORES	NÍVEIS	DETALHES									
Métodos de Filtro de Imagem	4	Filtro ApplySnow	Filtro Inverter	Filtro Emboss	Filtro Engrave						
Tamanhos de Arquivos	10	25KB	90KB	192KB	342KB	524KB	870KB	1,2MB	1,5MB	1,9MB	4,2MB
30 Repetições	x	40 testes									

Ao comparar o Experimento #1 com o Experimento #2, é possível observar em que situações a execução dos filtros no dispositivo móvel é mais rápida do que realizar o *offloading* de processamento e, conseqüentemente, em que circunstâncias não é vantajoso fazer o *offloading* dos dados.

4.3. Experimento #3: Seleção dos arquivos utilizando a árvore de decisão

O terceiro experimento utiliza os dados gerados nos experimentos anteriores para criar a árvore de decisão. O objetivo deste experimento é verificar se o mecanismo de tomada de decisão seleciona corretamente que arquivos devem ser migrados para a *cloudlet*. Os fatores utilizados foram os 4 filtros de imagem e os 10 tamanhos distintos de arquivos utilizados nos experimentos anteriores. A migração ou não dos arquivos é a métrica do experimento.

5. Resultados e Discussões

Os resultados do Experimento #1 foram compilados na Tabela 4. Os dados exibidos na Tabela 4 são as médias dos tempos gastos em milissegundos para o *offloading* de processamento dos quatro filtros em diferentes condições da rede, com o mecanismo de *offloading* de dados ativado ou desativado e com diferentes tamanhos de arquivos.

Tabela 4. Tempos de *offloading* de processamento (em milissegundos) com o mecanismo de *offloading* de dados ativado e desativado.

Cloudlet			Tamanho dos Arquivos									
Filtro	Banda	Offloading de Dados	25KB	90KB	192KB	342KB	524KB	870KB	1,2MB	1,5MB	1,9MB	4,2MB
Inverter	4 Mbps	Desativado	296	474	1272	3164	4168	9033	12307	17720	20799	45158
		Ativado	416	673	1232	2524	3816	7852	9174	12363	14597	32311
	8 Mbps	Desativado	176	458	1017	1808	2963	4648	6515	10121	11508	28696
		Ativado	381	620	855	1765	2586	3676	6206	8392	9853	22660
Emboss	4 Mbps	Desativado	386	842	2056	4256	7176	12800	18701	23522	26865	64780
		Ativado	550	966	2012	3498	5703	9975	15281	19356	22285	51985
	8 Mbps	Desativado	314	823	1426	2748	4361	7236	10418	15019	18868	39425
		Ativado	565	970	1421	2621	4082	6452	8812	12857	16256	37542
Engrave	4 Mbps	Desativado	386	753	1806	4314	5896	10585	16674	20305	25092	57806
		Ativado	560	905	1678	3297	5363	9775	13111	18498	21037	44678
	8 Mbps	Desativado	325	813	1431	2699	4544	6875	10628	13144	17045	39034
		Ativado	590	944	1364	2625	3833	5653	9557	11619	14512	32901
Snow	4 Mbps	Desativado	178	411	1033	2236	4218	7071	11450	14297	15852	37499
		Ativado	381	539	934	1962	3203	5039	6745	9879	11119	27168
	8 Mbps	Desativado	127	381	725	1471	2193	3730	5117	7795	9655	23398
		Ativado	399	532	723	1271	2125	2642	4074	4884	6995	16280

Nos testes realizados, quando o *offloading* de dados estava ativado, os arquivos utilizados nos filtros não precisavam ser enviados pela rede a cada requisição já que era feita a persistência na *cloudlet*. No início dos testes esperava-se que o tempo para o *offloading* de processamento dos filtros fosse menor quando o mecanismo estivesse ativado pelo motivo da persistência dos arquivos. No entanto, nos testes foi possível observar que há situações em que fazer a persistência de arquivos não é vantajoso (tempos em vermelho na Tabela 4).

Os resultados do Experimento #1 mostraram que a migração dos arquivos economiza tempo em 80% dos casos. No entanto, podemos observar nas colunas 25KB e 90KB da Tabela 4 que o *offloading* de processamento dos filtros de imagem é mais lento quando o mecanismo estava ativado (tempos em vermelho). O funcionamento do mecanismo introduz na operação de *offloading* de processamento uma sobrecarga para realizar o *hash* dos arquivos e em seguida de trocar o *hash* pelo arquivo correspondente na *cloudlet*. O tempo necessário para realizar a função *hash* impactou no tempo de *offloading* de processamento dos filtros com arquivos de tamanho 25KB e 90KB, e assim, a operação de *offloading* de dados se tornou desvantajosa para estes testes.

Já para as execuções com tamanho de arquivos maiores ou iguais a 192KB é vantajoso utilizar o *offloading* de dados. A Figura 4 exibe a diferença de tempos do *offloading* de processamento do filtro *Snow* quando o *offloading* de dados está ativado e desativado para duas larguras de banda distintas. É possível observar na Figura 4 que a utilização do mecanismo se torna mais vantajosa de acordo com o aumento do tamanho dos arquivos. Quando comparamos os tempos de execução com e sem o mecanismo, em média, o tempo ganho com a migração dos dados foi de 19,5%.

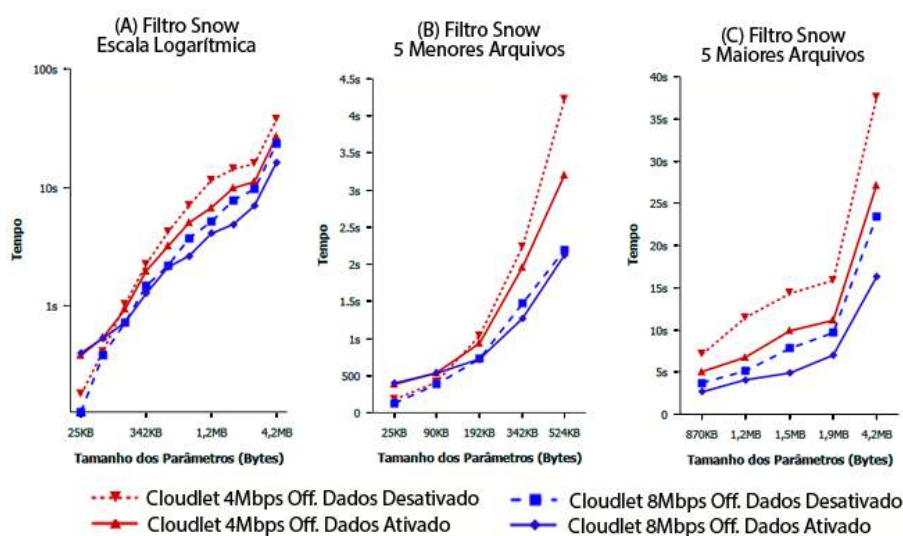


Figura 4. Comparativo do tempo de *offloading* de processamento do filtro *Snow* com o *offloading* de dados ativado e desativado.

Apesar do ganho médio observado no Experimento #1, foi necessário comparar o tempo do *offloading* de processamento com o tempo de execução no dispositivo móvel para averiguar onde é mais vantajoso realizar a execução dos filtros de imagem. Essa comparação foi feita no Experimento #2 e os dados obtidos foram compilados na Tabela 5.

Os resultados do Experimento #2 mostram que o *offloading* de processamento dos filtros consome menos tempo do que a execução no dispositivo móvel em 40% dos casos (tempos na cor verde). No entanto, quando analisamos a Tabela 5 percebemos que o filtro *Inverter* e *Snow* são executados mais rapidamente no dispositivo móvel do que na *cloudlet*. Nessa situação, assumimos que não existe ganho em fazer a migração dos arquivos quando os filtros são executados mais rapidamente no dispositivo móvel. Já que não haverá execução na *cloudlet* para essas situações, então não há necessidade de migrar arquivos para essas operações.

Tabela 5. Comparação dos tempos de *offloading* de processamento (em milissegundos) com a execução no dispositivo móvel.

Filtro	Execução		Tamanho dos Arquivos									
	Dispositivo		25KB	90KB	192KB	342KB	524KB	870KB	1,2MB	1,5MB	1,9MB	4,2MB
Inverter	Cloudlet (4Mbps Off. Dados Ativado)		416	673	1232	2524	3816	7852	9174	12363	14597	32311
	Cloudlet (8Mbps Off. Dados Ativado)		381	620	855	1765	2586	3676	6206	8392	9853	22660
	Dispositivo Móvel		47	202	528	1063	1608	3615	5676	6703	7552	18012
Emboss	Cloudlet (4Mbps Off. Dados Ativado)		550	966	2012	3498	5703	9975	15281	19356	22285	51985
	Cloudlet (8Mbps Off. Dados Ativado)		565	970	1421	2621	4082	6452	8812	12857	16256	37542
	Dispositivo Móvel		201	840	2192	4290	6603	14802	23631	28209	32615	63758
Engrave	Cloudlet (4Mbps Off. Dados Ativado)		560	905	1678	3297	5363	9775	13111	18498	21037	44678
	Cloudlet (8Mbps Off. Dados Ativado)		590	944	1364	2625	3833	5653	9557	11619	14512	32901
	Dispositivo Móvel		205	849	2218	4410	6734	15050	24138	28659	32688	72077
Snow	Cloudlet (4Mbps Off. Dados Ativado)		381	539	934	1962	3203	5039	6745	9879	11119	27168
	Cloudlet (8Mbps Off. Dados Ativado)		399	532	723	1271	2125	2642	4074	4884	6995	16280
	Dispositivo Móvel		6	29	78	156	235	549	870	1040	1186	2683

Na Tabela 5, podemos observar que a execução na *cloudlet* (com o *offloading* de dados ativado) depende do tamanho do arquivo e do filtro selecionado para que seja vantajosa. Para os filtros *Emboss* e *Engrave* só devem ser migrados os arquivos de tamanho

maiores ou iguais a 192KB. O tempos na cor vermelha indicam que para dado filtro e para dado tamanho de arquivo não vale a pena realizar a sua migração para a *cloudlet*. Já os tempos na cor verde indicam que para esses filtros e esses tamanhos de arquivos a migração contribui para o ganho de tempo.

Pode-se observar nos dois primeiros experimentos que a migração de todos os arquivos não é vantajosa, pois existem situações onde a execução dos filtros no dispositivo móvel é mais rápida ou a própria sobrecarga do mecanismo torna o *offloading* de processamento mais lento. É nesse cenário que a seleção dos arquivos se faz necessária. Assim, a fim averiguar a eficácia da tomada de decisão do mecanismo, foi gerada uma árvore com os dados extraídos dos Experimentos #1 e #2 (que pode ser observada na Figura 5).

Pelos resultados dos dois experimentos, esperava-se que o mecanismo fizesse a seleção de arquivos maiores ou iguais a 192KB e apenas para os filtros *Emboss* e *Engrave*. A Tabela 6 apresenta o resultado do Experimento #3, onde pode-se perceber que a seleção foi feita de forma esperada.

Tabela 6. Arquivos selecionados pelo mecanismo de tomada de decisão.

Filtro	Tamanho dos Arquivos									
	25KB	90KB	192KB	342KB	524KB	870KB	1,2MB	1,5MB	1,9MB	4,2MB
Inverter	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
Emboss	NÃO	NÃO	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
Engrave	NÃO	NÃO	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
Snow	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO

Os seguintes itens podem ser caracterizados como as principais ameaças à validação dos resultados deste trabalho: (i) Existe a necessidade de ampliar o ambiente de testes com uma maior variação de configurações e quantidade de dispositivos móveis; (ii) Para fins de redução no escopo, o experimento utilizou aplicativos que realizam operações em imagens. Ampliar os testes com outros tipos de aplicativos proporcionaria uma visão mais precisa dos possíveis ganhos ao utilizar o método proposto.

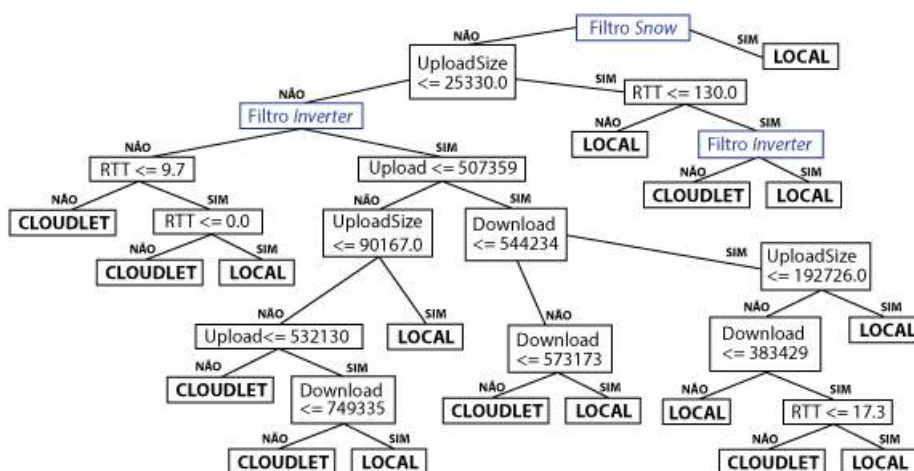


Figura 5. Árvore gerada a partir do histórico de execuções dos filtros de imagem no dispositivo móvel e na *cloudlet*

6. Conclusão

Neste artigo, propomos um mecanismo de auxílio a *frameworks* de *offloading* de processamento na persistência dos arquivos utilizados como parâmetros na invocação de métodos. De acordo com os resultados obtidos, o mecanismo diminuiu o tempo de *offloading* em 19,5% (em média). O mecanismo proposto leva em conta a tomada de decisão acerca de quais arquivos devem ser migrados. De acordo com os resultados, observamos que arquivos com tamanho inferiores a 192 KB não devem ser migrados pois: (i) o *offloading* de processamento é mais rápido quando o mecanismo de *offloading* de dados encontrava-se desativado, e (ii) os filtros de imagem que envolviam esses tamanhos de arquivos são executados mais rapidamente no dispositivo móvel.

A principal contribuição deste artigo é a utilização de técnicas de seleção e tomada de decisão no *offloading* de dados para dar suporte ao *offloading* de processamento, o que propicia redução no tempo de execução das tarefas executadas fora do dispositivo móvel.

Como perspectiva de estudos futuros, sugere-se a criação de perfis de acesso aos arquivos e perfis de funcionalidades utilizadas para que a tomada de decisão leve em consideração não só o histórico de todo o período de acesso, mas também o comportamento do usuário em intervalos de tempo mais curtos. Sugere-se ainda, com base nos resultados obtidos e nas ameaças à validação, a ampliação dos casos de uso e quantitativo de experimentos a fim de proporcionar uma visão mais ampla e precisa dos ganhos obtidos pelo uso do mecanismo e de sua aplicação em ambientes não controlados.

Agradecimentos

Agradecemos à CAPES (#1522784) e ao CNPq (#311878/2016-4).

Referências

- Ali, F. A., Simoens, P., Verbelen, T., Demeester, P., and Dhoedt, B. (2016). Mobile device power models for energy efficient dynamic offloading at runtime. *Journal of Systems and Software*, 113:173–187.
- Chun, B.-G., Ihm, S., Maniatis, P., Naik, M., and Patti, A. (2011). Clonecloud: elastic execution between mobile device and cloud. In *Proceedings of the sixth conference on Computer systems*, pages 301–314. ACM.
- Costa, P. B., Rego, P. A. L., Rocha, L. S., Trinta, F. A. M., and de Souza, J. N. (2015). Mpos: A multiplatform offloading system. In *30th Annual ACM Symposium on Applied Computing, SAC '15*, page 577–584, New York, NY, USA. ACM.
- Cuervo, E., Balasubramanian, A., Cho, D.-k., Wolman, A., Saroiu, S., Chandra, R., and Bahl, P. (2010). Maui: making smartphones last longer with code offload. In *Proceedings of the 8th international conference on Mobile systems, applications, and services*, pages 49–62. ACM.
- Dinh, H. T., Lee, C., Niyato, D., and Wang, P. (2013). A survey of mobile cloud computing: architecture, applications, and approaches. *Wireless communications and mobile computing*, 13(18):1587–1611.
- Enzai, N. I. M. and Tang, M. (2014). A taxonomy of computation offloading in mobile cloud computing. In *Mobile Cloud Computing, Services, and Engineering (Mobile-Cloud), 2014 2nd IEEE International Conference on*, pages 19–28. IEEE.

- Fernando, N., Loke, S. W., and Rahayu, W. (2013). Mobile cloud computing: A survey. *Future Generation Computer Systems*, 29:84–106.
- Flores, H., Hui, P., Tarkoma, S., Li, Y., Srirama, S., and Buyya, R. (2015). Mobile code offloading: from concept to practice and beyond. *IEEE Communications Magazine*, 53(3):80–88.
- Gomes, F. A. A., Rego, P. A. L., Rocha, L., de Souza, J. N., and Trinta, F. (2017). Caos: A context acquisition and offloading system. In *2017 IEEE 41th Annual Computer Software and Applications Conference (COMPSAC)*, volume 1.
- Gomes, F. A. A., Viana, W., Rocha, L. S., and Trinta, F. (2016). A Contextual Data Offloading Service With Privacy Support. In *WebMedia, Teresina-PI*, Brazil. Sociedade Brasileira de Computação.
- Hung, S.-h., Shih, C.-s., Shieh, J.-p., Lee, C.-p., and Huang, Y.-h. (2012). Executing mobile applications on the cloud : Framework and issues. *Computers and Mathematics with Applications*, 63(2):573–587.
- Kemp, R., Palmer, N., Kielmann, T., Seinstra, F., Drost, N., Maassen, J., and Bal, H. (2009). eyedentify: Multimedia cyber foraging from a smartphone. In *Multimedia, 2009. ISM'09. 11th IEEE International Symposium on*, pages 392–399. IEEE.
- Khan, A. R., Othman, M., Madani, S. A., and Khan, S. U. (2014). A survey of mobile cloud computing application models. *Communications Surveys & Tutorials, IEEE*, 16(1):393–413.
- Kumar, K., Liu, J., Lu, Y.-H., and Bhargava, B. (2013). A survey of computation offloading for mobile systems. *Mobile Networks and Applications*, 18(1):129–140.
- Lewis, G. and Lago, P. (2015). Architectural tactics for cyber-foraging: Results of a systematic literature review. *Journal of Systems and Software*, 107:158–186.
- Quinlan, J. R. (1993). C4. 5: Programming for machine learning. *Morgan Kauffmann*, page 38.
- Rego, P. A. L., Cheong, E., Coutinho, E. F., Trinta, F. A., Hasan, M. Z., and de Souza, J. N. (2017). Decision tree-based approaches for handling offloading decisions and performing adaptive monitoring in MCC systems. In *2017 5th IEEE International Conference on Mobile Cloud Computing, Services, and Engineering (MobileCloud)*.
- Satyanarayanan, M., Bahl, P., Caceres, R., and Davies, N. (2009). The case for vm-based cloudlets in mobile computing. *IEEE Pervasive Computing*, 8(4):14–23.
- Schüring, M. (2011). Mobile cloud computing—open issues and solutions. In *15th Twente Student Conference on IT, Enschede, The Netherlands*.
- Silva Jr., L. S. d., Magalhães, D. M. V., and Gomes, D. G. (2015). Modelagem e simulação de offloading para computação móvel em nuvem. In *Anais / XXXV Congresso da Sociedade Brasileira de Computação*, pages 91–100, Porto Alegre. SBC.
- Wu, X., Kumar, V., Quinlan, J. R., Ghosh, J., Yang, Q., Motoda, H., McLachlan, G. J., Ng, A., Liu, B., Philip, S. Y., et al. (2008). Top 10 algorithms in data mining. *Knowledge and information systems*, 14(1):1–37.

Um mecanismo distribuído de incentivo baseado em crédito para redes oportunistas

Daniel de M. C. Christiani¹, Antônio Augusto de A. Rocha², Carlos A. V. Campos¹

¹Programa de Pósgraduação em Informática (PPGI)
Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (UNIRIO)
Rio de Janeiro – RJ – Brasil

²Instituto de Computação
Universidade Federal Fluminense (UFF)
2420-240 Niterói – RJ – Brasil

Abstract. *Incentive mechanisms are increasingly needed in opportunistic networks that contain nodes with selfish behavior. For this, there are mechanisms based on credit but, that need a virtual bank (central entity) to promote the incentive. However, the existence of this central entity in an opportunistic network may not be possible. Therefore, a credit incentive mechanism is proposed in this paper. The main contribution is that the mechanism does not use a virtual bank for the distribution of credits (reward for forwarding messages), but rather a decentralized approach. In addition, it was proposed a mathematical modeling to represent the collection and distribution of credits in order to avoid Edge Insertion attacks, in certain cases. Finally, the proposed mechanism was evaluated through simulation using real mobility traces and different routing protocols, and compared its performance with the RELICS incentive mechanism. Based on the results obtained we can say that the proposed mechanism is promising in the sense of diminishing the occurrence of selfish nodes.*

Resumo. *Mecanismos de incentivo são cada vez mais necessários em redes oportunistas que contém nós com o comportamento egoísta. Para isso, existem mecanismos baseados em crédito mas, que necessitam de uma banco virtual (entidade central) para promover o incentivo. Entretanto, a existência desta entidade central em uma rede oportunista pode não ser possível. Sendo assim, neste artigo é proposto um mecanismo de incentivo baseado em créditos. A principal contribuição é o fato do mecanismo não utilizar um banco virtual para a distribuição dos créditos (recompensa pelo encaminhamento das mensagens), mas sim uma abordagem descentralizada. Além disso, foi proposta uma modelagem matemática para representar a cobrança e distribuição de créditos buscando evitar ataques do tipo Edge Insertion, em determinados casos. Por fim, o mecanismo proposto foi avaliado, via simulação, utilizando traces reais de mobilidade e diferentes protocolos de roteamento, e comparado seu desempenho com o mecanismo de incentivo RELICS. Com base nos resultados obtidos podemos dizer que o mecanismo proposto é promissor no sentido de diminuir a ocorrência de nós egoístas¹.*

¹O primeiro autor deste trabalho foi bolsista da CAPES ao longo do seu curso de mestrado.

1. Introdução

Para cenários de redes de computadores sem fio que apresentem longos atrasos e frequentes desconexões, a arquitetura TCP/IP pode não funcionar adequadamente. Por isso, novas arquiteturas e protocolos de redes são necessários. Uma destas novas abordagens são as redes oportunistas e um dos seus principais desafios é o roteamento das mensagens, uma vez que nestes cenários é necessário determinar rotas sem o estabelecimento de um caminho fim-a-fim entre a origem e o destino [Seregina et al. 2017].

O problema de desconexões frequentes pode ocorrer em redes oportunistas devido a diferentes fatores, como por exemplo, a mobilidade ocasionada pelas constantes mudanças na topologia da rede, pela necessidade de economia de recursos, restrição de disponibilidade de serviços ou outra característica particular da rede em questão [Junior and Campos 2015].

Para realizar a transferência de uma informação, esta mensagem deve ser armazenada e encaminhada nó a nó desde a origem até o destino, ou seja, é utilizada uma técnica, conhecida nestes cenários como armazena-carrega-e-encaminha (*store-carry-and-forward*). Na qual primeiro a mensagem é recebida integralmente e armazenada para que seja possível seu envio ao próximo nó, que pode ou não ser o destino [Zhu et al. 2013].

Para compensar o gasto de recursos dos dispositivos utilizados nessas redes, são utilizados mecanismos de incentivo [Shevade et al. 2008, Wang et al. 2014, Seregina et al. 2017, Ning et al. 2017], como por exemplo, o pagamento aos nós envolvidos na transmissão da informação como forma de incentivo. Para isso, foi criada uma unidade centralizadora com o objetivo de gerenciar as chamadas moedas virtuais. Porém, essa unidade não condiz com uma das principais características das redes oportunistas. Uma vez que essas redes sofrem com as frequentes desconexões, a dependência de uma entidade externa se torna um fator negativo.

A motivação deste artigo vem da necessidade de um mecanismo de incentivo que dispense a necessidade de uma unidade centralizadora externa a uma rede oportunista para utilização de moedas virtuais sem perda de confiabilidade, sendo resistente a possíveis ataques de nós maliciosos.

Embora a existência desta entidade centralizadora pareça a solução para os problemas referentes à segurança do mecanismo de moedas virtuais ela torna a rede oportunista, uma rede distribuída, dependente dela, ou seja, caso aconteça algo a esta entidade toda a transmissão de mensagens entre os nós da rede é afetada.

Por outro lado a utilização de moedas virtuais é um eficiente mecanismo de incentivo, sendo necessário um estudo da viabilidade de fazê-lo, sem que aconteça perda da consistência da informação referente a estas moedas, por meio de ataques de nós maliciosos na rede em que a mensagem está sendo transmitida.

O presente artigo aborda os diferentes tipos de mecanismos de incentivo para redes sem fio e a mitigação dos efeitos do egoísmo, além do problema do gasto duplo (*double spending*). Como objetivo principal, é proposto um novo mecanismo de incentivo baseado em créditos no qual não seja necessária a existência de uma entidade centralizadora. Além disso, o mecanismo proposto foi implementado em um simulador de redes tole-

rantes a atraso e é realizada uma comparação entre como é feito um encaminhamento de mensagens através de protocolos de roteamento, pelos quais, nós egoístas se recusam a encaminhar mensagens, e como os mecanismos de incentivo atuam para melhorar esta entrega, para que seja possível demonstrar o funcionamento e o desempenho do mecanismo proposto. Nesta comparação foram abordadas as métricas referentes não só em relação à fração de entrega, mas também em relação ao atraso médio e a sobrecarga de mensagens (*overhead*) durante o encaminhamento dessas mensagens.

Este artigo se divide em 5 seções, sendo a primeira a Introdução. Na Seção 2 será apresentado o conceito de egoísmo em redes oportunistas e também alguns exemplos de mecanismos de incentivo presentes na literatura. Na Seção 3 é proposto um mecanismo de incentivo distribuído baseado em créditos, com o seu sistema de pagamento e uma formalização matemática. Na Seção 4 serão apresentados os resultados obtidos. As conclusões e propostas para trabalhos futuros se encontram na Seção 5.

2. Egoísmo e mecanismos de incentivo

As redes DTNs são muitas vezes compostas por dispositivos utilizados por pessoas racionais e que nem sempre escolhem colaborar de forma altruística. Assim, como os dispositivos utilizados são portáteis e costumam acompanhar a mobilidade humana, foram desenvolvidos protocolos de roteamento que se aproveitam de características baseadas em um contexto social [Junior and Campos 2015], como amizade, comunidade e principalmente o egoísmo [Zhu et al. 2013]. O egoísmo em redes oportunistas pode ser definido como a recusa de um nó em gastar os seus recursos, como bateria e largura de banda, ao invés de trabalhar cooperativamente com outros nós em uma rede. Em [Chen and Chen 2007] são estabelecidos pelo menos 3 conceitos muito utilizados pela literatura sobre o comportamento dos nós, sendo eles:

1. Nós Colaborativos: são os nós que compartilham os recursos durante o encaminhamento da mensagem passando as informações verdadeiras.
2. Nós Egoístas: são os nós que não compartilham recursos durante o encaminhamento de mensagens.
3. Nós Maliciosos: são nós que corrompem o sistema com informações inválidas durante um ataque a rede.

Para mitigar os efeitos do egoísmo, foram propostos diversos mecanismos de incentivo pela literatura. Estes mecanismos buscavam alcançar este objetivo de duas formas: a primeira forma seria identificar os nós que se comportarem de forma egoísta e ou removê-los da rede, ou negá-los o serviço de encaminhamento de mensagens. A segunda forma seria incentivar a colaboração dos nós, impedindo que seja possível que qualquer nó se beneficie com um comportamento egoísta. Como é uma tarefa muito difícil e custosa identificar nós egoístas em uma rede oportunista, a segunda abordagem tem sido a mais utilizada pela literatura.

Os mecanismos de incentivo foram criados para compensar o gasto de recursos dos nós e para incentivar a colaboração em redes oportunistas podem ser divididos em três categorias: (i) - os mecanismos de incentivo baseados em *tit-for-tat*, (ii) - baseados em reputação e (iii) - os mecanismos de incentivo baseados em créditos ou moedas virtuais.

Os mecanismos baseados em *tit-for-tat* são modelados em uma relação entre cada par de nós, ou seja, um nó irá transmitir os pacotes de outro nó na mesma medida que

tem seus pacotes transmitidos. O problema desta abordagem ocorre quando dois nós acabam de se encontrar. Como ambos não possuem conhecimento prévio um sobre o outro, e nenhum pacote foi transmitido entre os mesmos, não é possível estabelecer se o outro nó irá cooperar, e caso ambos os nós decidam esperar que seus pacotes sejam transmitidos primeiro antes de cooperarem, nenhum pacote será transmitido na rede. [Shevade et al. 2008] apresenta dois conceitos relacionados aos nós envolvidos na transmissão de mensagens, o conceito de generosidade, que consiste no fato de um nó encaminhar um determinado número de pacotes antes de retaliar um possível nó egoísta e o conceito da contrição, mecanismo para evitar que dois nós parem de transmitir pacotes um do outro devido a uma retaliação mútua. Assim, um nó é capaz de perceber que a redução do encaminhamento de suas mensagens foi causada por uma ação egoísta passada, e por isso não retalia de volta.

Os mecanismos de incentivo baseados em reputação utilizam uma métrica para estimar o grau de colaboração de um determinado nó na rede, ou seja, quanto mais colaborativo o nó, maior a sua reputação [Zhu et al. 2013]. Nessa proposta cada nó mantém o controle dos pacotes que o mesmo tenha enviado a um vizinho particular. Porém, esta técnica acaba por enfrentar o problema da grande separação espacial entre o encaminhamento de mensagens sucessivas em redes oportunistas, uma vez que é significativamente difícil verificar se um determinado pacote foi ainda transmitido ou não [Uddin et al. 2010].

Segundo [Zhu et al. 2013] os esquemas baseados em crédito visam introduzir uma forma para regular as relações de pacotes de encaminhamento entre os nós diferentes, os quais recebem esta moeda virtual por meio dos envios de pacotes feitos para os outros nós. Para cada pedido de encaminhamento, o banco virtual cobra ao remetente uma quantidade extra desta moeda virtual, e os nós intermediários resgatam suas recompensas em algo que funciona como um banco após a entrega destes pacotes ser bem-sucedida. Esta técnica muitas vezes é utilizada para incentivar os nós egoístas. No entanto, estes mecanismos de incentivo necessitam de um banco virtual para realizar as operações de cobrança e recompensa entre os nós.

O presente artigo busca propor uma solução para este problema através de um mecanismo de incentivo baseado em créditos que possa ser realizado de forma descentralizada pelos nós de uma rede oportunista.

3. O mecanismo proposto

O trabalho aqui apresentado propõe uma abordagem semelhante à utilizada nas redes de BitCoins², para solucionar o problema apresentado na seção anterior e também para descrever como estas moedas serão geradas e mantidas pelo sistema. Ou seja, esta proposta visa criar um mecanismo de incentivo baseado em créditos, apresentando como diferencial a não utilização de um banco virtual. Essas moedas virtuais, geradas a partir da retransmissão de mensagens na rede, serão utilizadas para recompensar os nós que trabalhem de forma cooperativa.

O mecanismo proposto, a partir daqui, chamaremos de DiCent (*DIstributive in-CENTive*). Nas seguintes subseções apresentaremos o sistema de pagamento para os

²O BitCoin é uma moeda virtual que foi proposta por um hacker, ou um grupo de hackers sob o pseudônimo de Satoshi Sakamoto. Por funcionar de maneira descentralizada, algumas de suas características serão utilizadas nesta proposta.

créditos, a descrição do funcionamento do DiCent e uma formulação matemática para demonstrar a validade do mecanismo proposto.

3.1. Sistema de pagamento

Para tratar o pagamento de créditos como incentivo aos nós retransmissores, o mecanismo proposto utilizou as equações apresentadas por [Chen and Chan 2010] no desenvolvimento do MobiCent para garantir a cooperação dos nós, e evitar ataques de *edge insertion* pelos nós retransmissores. Os detalhes matemáticos de como serão realizadas o pagamento e a cobrança de créditos estão descritas na subseção da formalização matemática do mecanismo proposto.

Os créditos serão distribuídos conforme o algoritmo MDR apresentado em MobiCent [Chen and Chan 2010]. O mecanismo proposto não realiza uma distribuição de moedas prévia. Conforme exista uma lista de mensagens para ser enviada, o mecanismo verifica se o nó que receberá a mensagem não gastará nenhum crédito (ou seja, início da rede) e assim, enquanto não for atingido um valor máximo fixado em 4100 moedas, os nós destinatários continuarão gerando créditos. Quando o número de moedas criadas atingirem o valor máximo, o incentivo a colaboração será realizado através da troca de moedas entre os nós da rede, sendo que a mensagem apenas será enviada caso o nó destino tenha créditos suficientes para recompensar os nós retransmissores.

Para receber o seu pagamento, um nó deverá analisar todas as transações que estão em seu registro. Se o nó estiver na lista de nós retransmissores, o mesmo irá somar o número de créditos oferecidos como recompensa. Se o nó for o nó destino, deverá diminuir uma quantidade de créditos igual ao pago, ou seja, enquanto houver nós retransmissores, todas as transações terão seus créditos atualizados. Este procedimento também ocorrerá com os outros nós que participarem da transação, para que o nó que está atualizando os créditos saiba quantos créditos cada nó possui, ou seja, independente de ser o nó emissor, o nó destino, ou mesmo um nó retransmissor, deverá ocorrer atualização no registro do mesmo com estas informações, e caso seja um novo nó na retransmissão, o mesmo deverá ser incluído na lista de nós.

3.2. O funcionamento do mecanismo DiCent

O funcionamento do mecanismo proposto começa após receber do protocolo de roteamento a lista de mensagens a serem enviadas reorganizada conforme a política pré-determinada pelo protocolo de roteamento utilizado. Para poder funcionar corretamente, o mecanismo proposto necessita que o protocolo de roteamento forneça as informações sobre o número de saltos percorrido pela mensagem até a entrega e a lista de nós retransmissores. Essas informações são necessárias para a distribuição da recompensa e a cobrança do nó destino, assim como é realizado nos mecanismos de incentivo MuRIS e MobiCent.

O mecanismo proposto realiza uma comparação do *registro* dos nós envolvidos na transmissão da mensagem. Estes *registros* (implementados como uma lista de transações) contêm a gravação do histórico de transações para que os nós possam ter controle de todos os créditos existentes na rede, de forma distribuída e autônoma, a qual é semelhante às tabelas de rank utilizadas por [Uddin et al. 2010], no RELICS. Essa comparação inicial é realizada para que, ao trocar as informações sobre os registros, os nós tenham o conhecimento do número de créditos que um nó vizinho tem antes de enviar uma mensagem. Isto

tem por objetivo impedir que um nó receba uma mensagem mesmo sem ter créditos para pagar pelo recebimento.

Para isso, foi implementada a classe *transações* contendo as informações acerca de quais nós participaram do encaminhamento da mensagem, o momento da entrega da mensagem e também da quantidade de créditos que foram pagos e recebidos como recompensa pela entrega da mensagem. Para saber quantos créditos um nó possui, deve-se olhar em todas as transações, em quais delas o nó participou como retransmissor e em quais o mesmo foi o destino da mensagem. Ao somar os créditos ganhos, e subtrair os créditos perdidos, é possível determinar quantas moedas o nó possui, e assim tomar a decisão de encaminhar ou não a mensagem.

O mecanismo proposto realiza as seguintes verificações antes de entregar a mensagem ao nó destinatário: (i) - a possibilidade de serem criados novos créditos, (ii) - a existência de créditos para pagar pela transmissão da mensagem e (iii) - o número de saltos já percorridos pela mensagem.

Por sua vez, o nó destinatário envia uma lista com as informações referentes às mensagens já entregues, antes da entrega da mensagem, para que possa calcular a quantidade de créditos a ser paga aos nós que participaram da operação. Antes de enviar uma mensagem ao nó destinatário, caso todas as verificações sejam bem sucedidas, o mecanismo solicita ao protocolo de roteamento que a mensagem seja entregue, e essa operação é incluída no *registro*.

A mensagem deverá conter informações necessárias para inserir a *transação* no *registro*, como informação do nó emissor, a lista de nós retransmissores e o momento em que a mensagem foi entregue, para que o mecanismo possa funcionar de forma distribuída. Caso a mensagem seja enviada com sucesso, os dois nós deverão inserir esta operação em seus *registros*. Se a conexão entre os nós cair antes do fim da transmissão de uma mensagem, a operação não será incluída no *registro*. Se a transmissão for efetuada com sucesso, ambos os nós poderão adicionar a operação mesmo que a conexão caia logo em seguida, já que as suas cópias da mensagem possuem todas as informações necessárias para isto.

O mecanismo proposto possui algumas restrições: controle da quantidade de saltos que uma mensagem poderá tentar durante a transmissão da mensagem em 6 saltos, limite de criação de 64 créditos por hora créditos. O objetivo destas restrições é prevenir que um nó ataque a rede gerando uma quantidade muito grande de créditos, e impedindo que os outros nós recebam as suas mensagens.

Um grande problema do mecanismo proposto está no fato de que para impedir que os nós destino sejam beneficiados com um ataque de *Edge Insertion* seria necessário cobrar dos nós destino uma quantidade de moedas virtuais superior do que a quantidade de moedas que será distribuída como incentivo para os nós retransmissores. Isto causaria uma redução da quantidade de créditos existentes na rede. Esta perda de créditos obrigaria o mecanismo de incentivo a estar sempre criando novas moedas para suprir as que foram perdidas.

3.3. Modelagem e formalização matemática

Para demonstrar a validade do mecanismo DiCent, assim como provar que o mecanismo proposto incentiva a colaboração dos nós, e não permite que os nós retransmissores se beneficiem com um ataque do tipo *Edge Insertion*, foi feita uma formalização matemática nesta seção.

O mecanismo proposto utilizará uma fórmula baseada nos lemas e teoremas desenvolvidos por [Chen and Chan 2010] e [Wang et al. 2014].

Para validar matematicamente o mecanismo proposto, neste trabalho, utilizaremos as seguintes definições:

N = Número máximo de nós que podem participar da entrega da mensagem, onde: $\forall N \in \mathbb{N}$ e $N > 1$.

n = Número de nós que efetivamente participaram da entrega da mensagem, onde $\forall n \in \mathbb{N}$ e $N \geq n \geq 1$

$R_{(n)}$: Recompensa que cada nó receberá se n nós participarem da retransmissão.

$C_{(n)}$: Quantidade de créditos cedidos pelo nó destino aos nós retransmissores, se n nós participarem da retransmissão.

Para cada nó que participar da entrega da mensagem a recompensa é igual a:

$$\mathbb{R}_{(n)} = 2^{N-n} \quad (1)$$

Cobrança do nó destino: O nó destinatário deverá pagar uma quantidade de créditos exatamente igual à soma dos valores recebidos como recompensa oferecida a todos os nós retransmissores.

$$\mathbb{C} = \sum_{i=0}^n \mathbb{R}_i \quad (2)$$

Exemplo: Partindo do pressuposto que o total de nós $N = 10$ e o total dos nós participantes são $n = 4$, a quantidade de créditos recebidos como recompensa por cada nó retransmissor é $2^{10-4} = 2^6 = 64$ créditos.

3.4. Teoremas

Teorema 1: *Para impedir que os créditos sejam criados de forma descontrolada, causando uma perda do valor dos créditos, ou que os créditos sejam perdidos durante o pagamento do incentivo, o valor cobrado ao nó destino será sempre igual ao valor oferecido como recompensa a todos os nós que efetivamente participaram da retransmissão da mensagem.*

Prova: Base da Indução: Como base para a indução matemática, utilizaremos um valor de $n = 1$. Substituindo este valor na equação anterior temos como base para a indução $2^{N-1} = 1 \times 2^{N-1}$. Como esta equação é verdadeira para qualquer valor de N , a Base da Indução está validada.

Hipótese Indutiva:

$$\sum_{k=1}^K 2^{N-k} = k \times 2^{N-k} \quad (3)$$

Prova de $k + 1$: Ao substituir o k na Hipótese Indutiva por $k + 1$, temos que:

$$\sum_{k=1}^{k+1} 2^{N-(k+1)} = (k + 1)2^{N-(k+1)} \quad (4)$$

Resolvendo o somatório, temos $(k + 1) \times 2^{N-(k+1)}$. Assim, igualamos a primeira parte com a segunda parte da igualdade, e temos que $(k + 1) \times 2^{N-(k+1)} = (k + 1)2^{N-(k+1)}$. Como esta equação é verdadeira para qualquer valor de k , o Teorema 1 está provado como gostaríamos de demonstrar.

Teorema 2: *Os nós retransmissores não devem ter incentivo ao utilizar um ataque de Edge Insertion.*

Lema 1: Para que um nó retransmissor não seja incentivado a utilizar um ataque de Edge Insertion, $R_{(n)} \geq R_{(n+1)}$.

Prova do Lema 1: Como visto nas definições, a recompensa recebida por cada nó retransmissor é de $R_{(n)}$. Ao utilizar um ataque de Edge Insertion, o nó atacante irá inserir um nó sybil na lista de nós retransmissores para ganhar uma quantidade de créditos como recompensa igual a soma obtida pelo nó atacante e o nó sybil. Com a inserção do nó sybil, o número de nós retransmissores aumentou para $(n + 1)$. Com isso, a recompensa obtida por cada nó mudou para $R_{(n+1)}$. Para que o nó atacante não se beneficie, a quantidade de créditos recebida pelo nó atacante mais a quantidade de créditos recebida pelo nó sybil deve ser igual ou menor do que a quantidade que o nó receberia se não utilizasse o ataque, ou seja:

$$\mathbb{R}_{(n)} \geq \mathbb{R}_{(n+1)} \quad (5)$$

Prova: Prova por indução: Para a base da prova por indução matemática será utilizado $n = 1$. Substituindo os valores nas equações anteriores temos: $2^{N-1} \leq 2 \times 2^{N-(1+1)}$. Diminuindo em 1 o expoente da primeira parte da inequação, colocando o número 2 em evidência, temos $2 \times 2^{N-2} \leq 2 \times 2^{N-2}$, o que valida a base da indução.

Para a hipótese indutiva será utilizada a inequação $2^{(N-k)} \leq 2 \times 2^{N-(k+1)}$.

Para a prova de $K + 1$, na inequação e $2^{N-(k+1)} \leq 2 \times 2^{N-(k+2)}$ basta novamente modificar a primeira parte da inequação para $2 \times 2^{N-(k+2)} \leq 2 \times 2^{N-(k+2)}$ provando o teorema como queríamos demonstrar.

Teorema 3: *O nó destino não deve ter incentivo ao utilizar um ataque de Edge Insertion.*

Prova: Como o mecanismo proposto não é capaz de impedir que o nó destino se beneficie com um ataque de Edge Insertion, será fornecido um contra exemplo para demonstrar isto.

Contra exemplo: Supondo que $n = 2$ e $N = 5$. A recompensa recebida por cada nó que participar da retransmissão será de $2^{5-2} = 8$. A cobrança do nó destino será de 16 créditos. Ao realizar o ataque, a recompensa cedida a cada nó será de $2^{5-3} = 4$, e a cobrança será de 12 créditos. Como a cobrança do nó destino ao realizar o ataque é menor do que a cobrança ao não realizar o ataque, o mecanismo é capaz de impedir que o nó destino se beneficie com um ataque de Edge Insertion, como queríamos demonstrar.

Teorema 4: *Nenhum nó deve ser incentivado a realizar ciclos no encaminhamento da mensagem.*

Prova: Para demonstrar que nenhum nó poderia se beneficiar com este tipo de ataque, deve-se considerar que cada nó receberá 2^{N-n} como recompensa. Caso a mensagem seja repassada duas vezes por todos os nós do ciclo, ao invés de apenas uma vez, o número de nós retransmissores será aumentado em k . Com isto, cada nó retransmissor receberia $2^{N-(n+k)}$ de recompensa, e os nós do ciclo receberiam $2 \times 2^{N-(n+k)}$, que é igual à $2^{N-(n+k-1)}$.

Ciclo de um nó ($k = 1$):

Se $k = 1$, a recompensa recebida será de 2^{N-n} que é a mesma recompensa que o nó receberia sem o ciclo.

Ciclo de mais de um nó ($k > 1$):

Se $k > 1$, a recompensa recebida pelo nó será de $2^{N-(n+k-1)}$. Como $2^{N-n} \geq k \times 2^{N-(n+k-1)}$, o nó não poderá se beneficiar com a criação de ciclos. Como não é possível que um nó receba mais créditos com a criação de um ciclo, nenhum nó irá ser adicionado mais de uma vez na lista de nós retransmissores, como queríamos demonstrar.

3.5. Algoritmo de incentivo dos nós

Quando um nó da rede proposta entrar em contato com um nó vizinho, cada um deles irá trocar informações sobre as operações já realizadas na rede e atualizar o seu registro de operações.

1. Ao estabelecer uma conexão com um nó vizinho, cada nó da rede irá requisitar as mensagens a serem enviadas pelo protocolo de roteamento.
2. Estas mensagens serão então ordenadas de acordo com parâmetros definidos pelo protocolo de roteamento, e com a recompensa esperada com a entrega da mensagem.
3. As mensagens serão então transmitidas criptografadas.
4. Quando uma mensagem chegar ao nó de destino, este irá enviar moedas para todos os nós que participaram da retransmissão. O nó de origem e os outros nós que participaram da retransmissão irão enviar as chaves necessárias para descriptografar a mensagem.

4. Avaliação de desempenho

Esta seção apresenta uma avaliação, via simulação, do mecanismo DiCent para avaliar a sua efetividade e compará-lo com outros mecanismos de incentivo da literatura. Nesta avaliação será usado o simulador de redes oportunistas ONE [Keränen et al. 2009], no qual foi implementado o mecanismo DiCent. Assim, a avaliação fará uso do protocolo

de roteamento Prophet, de traces realísticos de contato de usuários sem fio e comparará o desempenho do DiCent com o mecanismo RELICS que foi usada a implementação disponibilizada pelos seus autores do RELICS.

Os traces de contato foram extraídos do projeto CRAWDAD para simular a movimentação e contato de usuários em uma conferência. Assim, o dataset INFOCOM 05 [Scott et al 2006], extraído durante a IEEE INFOCOM'2005, cuja coleta de dados representou o movimento de 41 nós no período entre os dias 7 e 10 de Março de 2005. A respeito da carga de mensagens na rede, foram criadas 1000 mensagens ao longo da simulação, cada uma com 2,5 KB de tamanho. O buffer dos nós que compõem a rede foi definido como 100MB, para evitar que houvesse descarte de mensagens por sobrecarga do mesmo. O tempo de vida (TTL) avaliado para cada mensagem foi de 15h, 24h, 36h, 48h e o tempo total de simulação foi de 275.000 segundos (quase 77 horas).

4.1. Métricas de desempenho

As métricas escolhidas para comparação entre os mecanismos de incentivo foram a fração de entrega, o atraso médio e o overhead. Estas métricas são normalmente usadas na avaliação de redes tolerantes a atraso ou oportunistas [da Nóbrega Gomes et al. 2017].

Fração de entrega da mensagem: razão entre as mensagens que foram entregues aos nós destinos e as mensagens que foram efetivamente criadas pelos nós emissores. Portanto, as cópias das mensagens que foram criadas durante o processo de encaminhamento pelos nós retransmissores não são contadas por esta métrica.

Overhead (sobrecarga) médio de mensagens: mede quantas mensagens foram criadas pelos nós retransmissores para que as mensagens sejam entregues. Essa métrica é calculada ao diminuir a quantidade de mensagens retransmitidas (messages relayed) pelo número de mensagens entregues, e então dividir o resultado pelo número de mensagens entregues.

Atraso médio na entrega da mensagem: média entre o intervalo de tempo entre o momento em que uma mensagem é criada até o momento em que a mesma é entregue. Assim, primeiro é calculado o atraso de cada pacote, subtraindo o tempo em que a mesma foi entregue do momento em que a mesma foi criada. Este valor de atraso é somado para cada mensagem entregue, e depois, a soma dos atrasos individuais é dividida pelo número de mensagens entregues.

4.2. Resultados obtidos

O intuito da avaliação foi comparar o comportamento dos mecanismos de incentivo em relação ao cenário no qual é considerado o comportamento de nós egoístas. Para representar a ação de nós egoístas durante as simulações, foram utilizados nós frugais (Frugal nodes), assim como nos trabalhos [Shevade et al. 2008, Uddin et al. 2010]. Estes nós apresentam uma quantidade extrema de egoísmo, e apenas retransmitem suas próprias mensagens, se recusando a enviar mensagens que tenham sido criadas por outros nós. Em [Shevade et al. 2008], é dito que, caso todos os nós sejam frugais, o comportamento da rede se degenera, e a entrega de mensagens ocorre apenas de forma direta, ou seja, as mensagens apenas seriam entregues caso o destino entre em contato com o emissor.

Como este cenário seria compatível com o uso do protocolo de roteamento por entrega direta, e não representaria um cenário em que apenas alguns nós apresentariam um

comportamento egoísta, para ilustrar o efeito do egoísmo nos protocolos de roteamento foi utilizado o mesmo padrão de egoísmo apresentado por [Uddin et al. 2010]. No presente trabalho, os nós múltiplos de 5, começando pelo nó 0, foram escolhidos para serem nós frugais. Este número de nós frugais foi escolhido pois, caso o número de nós egoístas fosse muito reduzido, os efeitos dos nós egoístas na rede não seriam tão evidentes. Da mesma forma, caso o número de nós egoístas fosse muito grande, a rede se comportaria de forma idêntica ao uso do protocolo de roteamento por entrega direta, não permitindo observar a diferença entre os efeitos do egoísmo nos diferentes protocolos de roteamento.

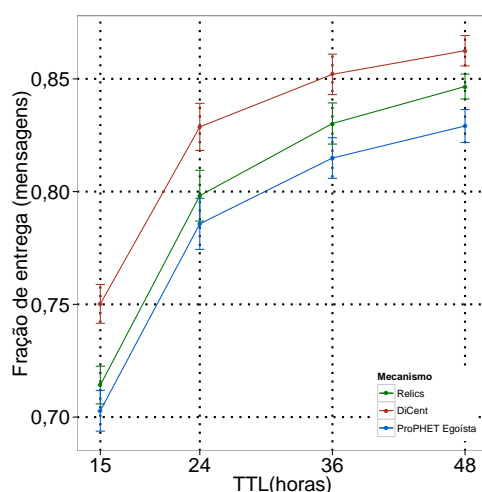


Figura 1. Média da fração de entrega utilizando o protocolo de roteamento ProPHET junto com os mecanismos de incentivo DiCent e RELICS

Como é possível observar na Figura 1, o mecanismo DiCent apresentou uma maior fração de entrega em relação à apresentada pelo mecanismo RELICS e pelo protocolo de roteamento ProPHET na presença de nós egoístas. Também é possível observar que, embora a média da fração de entrega apresentada pelo ProPHET na presença de nós egoístas tenha coincidido com a fração de entrega de mensagens do mecanismo RELICS, dentro da margem de erro utilizada, o mecanismo RELICS apresentou uma tendência a apresentar uma fração de entrega maior do que a apresentada pelo ProPHET com nós egoístas, o que se confirmou nas simulações realizadas com um TTL de 48 horas. Isto indica que, com esta quantidade de nós frugais, o incentivo realizado pelo mecanismo RELICS, dada a margem de erro e no trace de mobilidade utilizado para estas simulações, apenas pode ser considerado benéfico para a fração de entrega ao se utilizar um valor de TTL próximo ou maior do que 48 horas.

Já o mecanismo DiCent, apresentou uma maior fração de entrega do que o mecanismo RELICS em todos os cenários ilustrados pelo gráfico, mesmo considerando o intervalo de confiança de 95%. Isto mostra que as limitações causadas pelo rank do RELICS impediram que mais mensagens fossem entregues do que a distribuição de créditos do DiCent. Outra observação a ser feita é que, em todos os cenários ilustrados pela Figura 1, houve um grande aumento da fração de entrega entre as simulações realizadas com um TTL de 15 horas e de 24 horas. Isso indica que, ao aumentar o TTL dentro deste intervalo de tempo, houve muitas novas oportunidades de contato para a entrega da mensagem, o que provocou o aumento observado. Embora ainda tenha havido um aumento

da fração de entrega até as simulações utilizando um TTL de 48 horas, a diferença entre as frações de entrega apresentadas entre as simulações com um TTL de 48 e 36 horas foram inferiores às observadas com um TTL entre 15 e 24 horas. Isso indica que, no trace de mobilidade utilizado, não houve um aumento expressivo das oportunidades de transmissão de mensagens ao se utilizar um TTL acima de 24 horas. Como os nós no mecanismo RELICS começam com um valor de rank que permitiria apenas o envio de duas mensagens, e o DiCent permite que os nós enviem um número maior de mensagens ao criar créditos, o mecanismo proposto mostrou-se capaz de permitir uma maior fração de entrega de mensagens do que a utilização do rank de nós usando o RELICS.

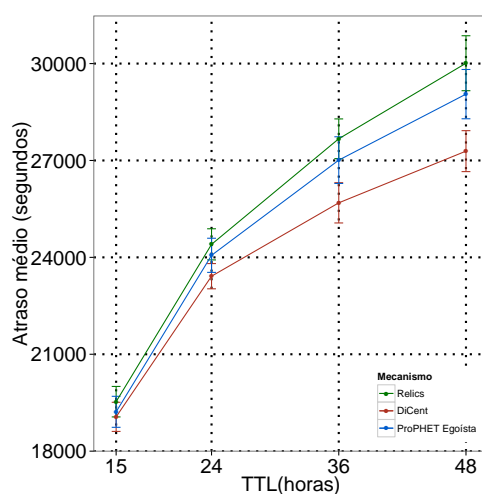


Figura 2. Atraso médio na entrega de mensagens utilizando o protocolo ProPHET junto com os mecanismos de incentivo DiCent e RELICS.

A segunda métrica analisada foi o atraso médio. Como pode ser observado na Figura 2, o atraso médio apresentado pelo protocolo de roteamento ProPHET com nós egoístas e o apresentado pelos mecanismos de incentivo DiCent e RELICS apresentaram resultados dentro do intervalo de confiança ao se utilizar um TTL de 15 e 24 horas. No entanto, o gráfico ilustra uma tendência de que, ao aumentar o TTL, o mecanismo de incentivo RELICS apresentaria um valor de atraso médio superior ao do protocolo de roteamento ProPHET com nós frugais, e o mecanismo proposto apresentaria um valor de atraso médio inferior ao RELICS e ao ProPHET, tendência esta que foi confirmada nas simulações com um TTL de 48 horas. Como no mecanismo RELICS as mensagens são enviadas de acordo com uma prioridade estabelecida pelo rank do nó emissor, ao contrário do mecanismo proposto, que prioriza mensagens com um menor número de saltos, o mecanismo DiCent, neste cenário entregou primeiro mensagens que possuíam um atraso médio inferior às que foram entregues pelo mecanismo RELICS, já que é possível que algumas mensagens que foram priorizadas pelo mecanismo RELICS, por terem um nó emissor com rank elevado, possuíam um número de saltos mais alto do que as mensagens entregues pelo mecanismo proposto, e também um maior valor de atraso. Conforme foi aumentando o tempo de vida dos pacotes, novas oportunidades de entrega foram surgindo, independente do mecanismo. No entanto, devido à característica do mecanismo RELICS de priorizar as entregas onde há um ganho de reputação maior, ao invés do DiCent que sempre prioriza os caminhos mais curtos, a diferença entre o atraso dos dois mecanismos

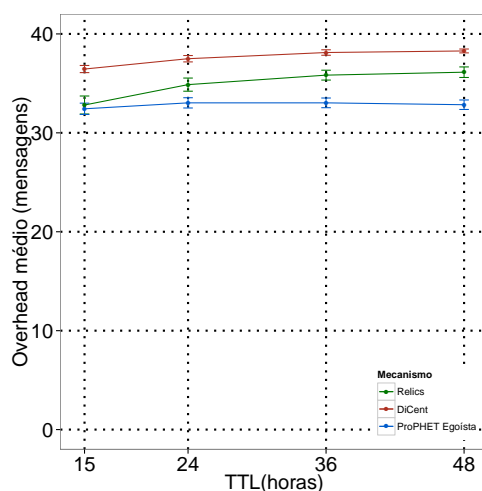


Figura 3. Overhead médio na entrega de mensagens utilizando o protocolo de roteamento ProPHET junto com os mecanismos de incentivo DiCent e RELICS.

tende a aumentar junto com o tempo de vida dos pacotes.

Como pode ser observado na Figura 3, o comportamento egoísta dos nós frugais utilizando o protocolo ProPHET impediu que o valor de overhead médio ultrapassasse uma média de 33 mensagens, já que os nós egoístas descartaram todas as mensagens que chegaram até eles. Embora o overhead encontrado nas simulações realizadas com o mecanismo de incentivo RELICS e um TTL de 15 horas tenham sido bem próximas às encontradas com as simulações do ProPHET com nós egoístas, o overhead médio encontrado ao se utilizar o mecanismo de incentivo RELICS apresentou um valor crescente quando o TTL foi aumentado.

O mecanismo DiCent também apresentou a mesma tendência de aumento, mas apresentou valores de overhead superiores aos encontrados pelo mecanismo RELICS. Isto mostra que, ao custo de criar uma quantidade maior de mensagens, o mecanismo proposto conseguiu uma fração de entrega maior, e também entregar estas mensagens com um atraso menor. Este número maior de mensagens criadas pelo mecanismo DiCent está ligado ao limite máximo de saltos, ou seja, quanto maior a quantidade máxima de saltos que uma mensagem possa realizar, maior será o overhead. O limite máximo para a quantidade de mensagens criadas, caso haja créditos suficientes, seria o mesmo gerado pelo protocolo de roteamento epidêmico. Além disso, o fato de que o RELICS criou uma quantidade menor de mensagens, mesmo que ambos os mecanismos tenham utilizado o ProPHET como protocolo de roteamento, pode ser explicado pelo fato de que as mensagens com um nó de origem com um rank igual ou inferior a 1 não foram retransmitidas pelos nós que utilizaram o mecanismo RELICS.

5. Conclusão e trabalhos futuros

Neste artigo foi proposto um mecanismo de incentivo que é capaz de utilizar uma abordagem de incentivo por créditos de maneira distribuída, sem a necessidade de um banco virtual para gerenciar as transações realizadas entre os nós. No lugar deste banco virtual foi proposto um registro contendo todas as transações realizadas entre os nós, onde é possível descobrir quantas moedas cada nó possui antes de enviar uma mensagem.

Através do modelo matemático apresentado na Seção 3 para o pagamento de créditos foi possível demonstrar que ao utilizar o mecanismo proposto nenhum nó retransmissor poderia se beneficiar ao utilizar um ataque de *Edge Insertion*. No entanto, evitar que o nó destino se beneficie por este ataque sem que haja uma perda de créditos ainda é um desafio.

Como um trabalho futuro, pretendemos analisar a criação e perda de moedas em uma rede em que os nós possam entrar e sair a qualquer momento. Este cenário também seria um grande desafio quanto à segurança e autenticação dos nós, já que isso também teria de ser feito pelos nós da rede, de forma descentralizada. Também pretendemos realizar simulações envolvendo outros traces de mobilidade e protocolos de roteamento, para avaliar os efeitos no mecanismo DiCent.

Referências

- Chen, B. B. and Chan, M. C. (2010). Mobicent: a credit-based incentive system for disruption tolerant network. In *IEEE INFOCOM'2010*, pages 1–9.
- Chen, H. and Chen, G. (2007). A resource-based reputation rating mechanism for peer-to-peer networks. In *Sixth GCC'2007*, pages 535–541.
- da Nóbrega Gomes, E., Campos, C. A. V., de Lucena, S. C., and Viana, A. C. (2017). A message removal mechanism for delay tolerant networks. In *Advances in Ubiquitous Networking 2*, pages 43–55. Springer.
- Junior, N. M. and Campos, C. A. V. (2015). Socleer: A social-based energy-efficient forwarding protocol for opportunistic networks. In *2015 International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC)*, pages 757–762.
- Keränen, A., Ott, J., and Kärkkäinen, T. (2009). The one simulator for dtn protocol evaluation. In *Proceedings of the 2nd SIMUTOOLS*, page 55.
- Ning, T., Liu, Y., Yang, Z., and Wu, H. (2017). Incentive mechanisms for data dissemination in autonomous mobile social networks. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, PP(99):1–1.
- Seregina, T., Brun, O., El-Azouzi, R., and Prabhu, B. J. (2017). On the design of a reward-based incentive mechanism for delay tolerant networks. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 16(2):453–465.
- Shevade, U., Song, H. H., Qiu, L., and Zhang, Y. (2008). Incentive-aware routing in dtns. In *IEEE ICNP'2008*, pages 238–247.
- Uddin, M. Y. S., Godfrey, B., and Abdelzaher, T. (2010). Relics: In-network realization of incentives to combat selfishness in dtns. In *18th IEEE ICNP'2010*, pages 203–212.
- Wang, Y., Chuah, M.-C., and Chen, Y. (2014). Incentive based data sharing in delay tolerant mobile networks. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 13(1):370–381.
- Zhu, Y., Xu, B., Shi, X., and Wang, Y. (2013). A survey of social-based routing in delay tolerant networks: positive and negative social effects. *Communications Surveys & Tutorials, IEEE*, 15(1):387–401.

Otimizando o uso do Subsistema de Memória de GPUs para Aplicações Baseadas em Estênceis*

Ricardo K. Lorenzoni¹, Matheus S. Serpa², Edson L. Padoin^{1,2}, Jairo Panetta⁴
Philippe O. A. Navaux², Jean-François Méhaut³

¹Universidade Reg. do Noroeste do Estado do Rio G. do Sul (UNIJUI)
Ijuí – RS – Brasil

{ricardo.lorenzoni,padoin}@unijui.edu.br

²Instituto de Informática – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)
Caixa Postal 15.064 – 91.501-970, Porto Alegre – RS – Brasil

{msserpa,navaux}@inf.ufrgs.br

³Universite Grenoble Alpes – Grenoble – França

jean-francois.mehaut@imag.fr

⁴Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA) – S. J. Campos – Brazil

jairo.panetta@gmail.com

Abstract. *Energy and performance of parallel systems are an increasing concern for new large-scale systems. Research has been developed in response to this challenge aim the manufacture of more energy-efficient systems. In this context, this paper proposes to accelerate performance and increase the energy efficiency of stencil application by optimizing the use of the memory subsystem of GPUs. Our developed GPU-optimized algorithms for stencil applications achieve a performance speedup of up to 2.85 compared with the naive version. The computational results have shown that the combination of the Z-axis internalization of stencil application and the reuse of registers of architecture can achieve about 20.24% of energy saving and an increase of up to 50% in energy efficiency.*

Resumo. *O desempenho e a eficiência energética de sistemas paralelos são uma preocupação crescente para sistemas de larga escala. Pesquisas tem sido desenvolvidas em resposta a este problema focando na obtenção de sistemas com melhor eficiência energética. Neste contexto, este trabalho tem como objetivo melhorar o desempenho e a eficiência energética de aplicações baseadas em estênceis, pela otimização do uso do subsistema de memória de placas GPUs. Os resultados mostram, que o ganho de desempenho utilizando as otimizações propostas são de até 2,85 vezes comparados à versão original. A otimização que combina a internalização do eixo Z com o reuso de registradores resulta em uma redução de até 20,24% no consumo energético e um aumento de até 50% na eficiência energética.*

*Trabalho parcialmente apoiado por CNPq, CAPES, FAPERGS, Intel Corporation e FINEP. Pesquisa realizada no contexto do Laboratório Internacional Associado LICIA e tem recebido recursos do programa EU H2020 e do MCTI/RNP-Brasil sob o projeto HPC4E de número 689772.

1. Introdução

Simulações numéricas são utilizadas para a predição do comportamento de diversos fenômenos, sendo aplicadas em diversas áreas tais como a física, geologia, química, entre outras. A precisão e a acurácia dos métodos numéricos utilizados estão associadas aos recursos computacionais disponíveis. Um subconjunto dessas simulações utiliza estênceis, sendo que o tempo de suas computações é elevado até mesmo em supercomputadores [de la Cruz and Araya-Polo 2011].

O relatório DARPA [Bergman et al. 2008] recomenda um limite de 20MW para a criação de sistemas *Exascale*. Devido a esta recomendação, atualmente um dos desafios da Computação de Alto Desempenho (CAD) é melhorar a eficiência energética dos dispositivos. Neste sentido, reduzir o tempo total de execução de aplicações é uma forma viável de reduzir o consumo de energia, visto que energia é economizada quando recursos de *hardware* são utilizados por menos tempo. Buscando reduzir o tempo de execução, bem como reduzir o consumo de energia das aplicações, portar as aplicações científicas para execução em GPUs, tem sido uma estratégia amplamente adotada.

A computação de estênceis pode ser portada para GPUs com significativa melhoria de desempenho quando comparada com implementações realizadas em CPUs [Maruyama and Aoki 2014]. Além disto, por ser tipicamente *memory-bound*, a computação de estênceis pode beneficiar-se do uso dos diferentes níveis de memória das GPUs. Neste contexto, o objetivo deste trabalho é analisar o desempenho e a eficiência energética de uma aplicação de propagação de ondas baseada em estênceis, executada em uma arquitetura composta por uma GPU. Desta forma, será possível analisar como o uso de diferentes memórias da arquitetura impactam no desempenho dessa aplicação.

2. Trabalhos Relacionados

Diversos trabalhos têm sido desenvolvidos sobre a otimização de aplicações de propagação de ondas. Em [Nasciutti and Panetta 2016], os autores aplicam otimizações na computação de estênceis 3D e analisam o desempenho de GPUs focando no uso adequado da hierarquia de memória e concluem que a codificação mais indicada é baseada na combinação do uso do cache somente leitura, internalização do laço em Z e o reuso de registradores.

Em [Maruyama and Aoki 2014], os autores utilizaram a memória compartilhada para melhorar a localidade dos dados e a especialização de *warps* para obter uma maior taxa de saída de instruções, obtendo aproximadamente 80% do valor do modelo *roofline*.

Em seu trabalho, [Hamilton et al. 2015] investiga a performance de computação de estênceis em GPUs variando o tamanho e a forma dos estênceis. Os autores apontam que a movimentação de dados é o gargalo deste tipo de aplicações, estênceis compactos são mais eficientes utilizando a cache somente leitura, que estênceis de braço requerem uma porção significativa de banda da memória global para obter performance similar a dos estênceis compactos com quantidades de pontos similares.

Diferente destes trabalhos que analisam e otimizam o desempenho de aplicações em GPUs, e analisam o desempenho de aplicações de estênceis com diferentes formatos, o foco do presente artigo é analisar o desempenho, o consumo de energia, a demanda de potência e a eficiência energética de uma aplicação real de propagação de onda. Dando enfoque na eficiência energética, dada a importância da melhoria da eficiência energética de dispositivos na

atualidade.

3. Metodologia Experimental

Para a realização dos testes de desempenho e eficiência energética de uma aplicação estênceis, uma GPU da arquitetura Kepler foi utilizada. A GPU NVIDIA K80 possui 2496 CUDA cores, sendo que, cada *Streaming Multiprocessor (SMX)* possui uma memória *on-chip* configurável que pode ser configurada como 48/32/16 KB de memória compartilhada e 16/32/48 KB de cache L1. Ela também possui uma memória rápida somente leitura de 48 KB e uma memória cache L2 compartilhada. A Tabela 3 apresenta o ambiente utilizado.

Sistema	Parâmetro	Valor
Kepler	Dispositivo	Tesla K80
	CUDA Cores	2496 (13 SMXs \times 192 SPs/SMX)
	Registradores	13 \times 256 KByte
	Caches	13 \times 64 KByte L1 / <i>compartilhada</i> , 1280 KByte L2 13 \times 48 KByte <i>texture (read-only)</i>
	Memória global	12 GByte GDDR5

Tabela 1. Configuração da GPU K80

Dados de desempenho e eficiência energética das aplicações de estêncil foram coletados. Para medir a potência média utilizamos a *NVIDIA Management Library (NVML)*. Para calcular a eficiência energética, utilizamos desempenho pela potência média. Os valores apresentados neste trabalho são os resultados médios de 30 execuções.

4. Computação de Estênceis em GPUs

Esta seção apresenta uma análise da computação de estênceis em diferentes níveis da arquitetura de memória da GPU apresentada na última seção.

Diferentes tamanhos de estêncil foram utilizados em nossa pesquisa com aplicações de estêncil. Contudo, neste artigo apresentamos os resultados obtidos com estênceis de 13, 19, 25 e 31 pontos. Portanto, para facilitar a análise, separamos os resultados obtidos em desempenho e eficiência energética de 3 versões da aplicação i) BASE, ii) READ.ONLY e iii) SHARED) aplicando diferentes otimizações.

4.1. Análise de Desempenho

Primeiramente analisamos o desempenho obtido com as diversas versões da aplicação. A Figura 1 compara o desempenho de cada uma das aplicações: (i) realizando uma computação normal com estênceis (BASE); (ii) utilizando a cache somente leitura (READ.ONLY); e (iii) utilizando a memória compartilhada. Ela também apresenta uma avaliação dos ganhos obtidos quando as otimizações são aplicadas.

O desempenho da aplicação de estênceis foi aumentado em 2,09, 2,77 e 2,66 vezes sobre a BASE (linha preta) quando a otimização READ.ONLY.INT.Z.REGISTERS (linha bordô) foi aplicada nos estênceis com 13, 19 e 25 pontos respectivamente. O maior ganho ocorreu na execução sobre o estêncil de 31 pontos quando a otimização SHARED.INT.Z.REGISTERS (linha

cinza) foi aplicada. Ela aumentou em até 2,85 vezes o desempenho se comparada com a versão BASE.

As otimizações READ.ONLY.INT.Z.REGISTERS (linha bordô) e SHARED.INT.Z.REGISTERS (linha cinza) obtiveram os maiores desempenhos em todos os testes com todos os tamanhos de estêncis. Para o estêncil de 31 pontos, READ.ONLY.INT.Z.REGISTERS e SHARED.INT.Z.REGISTERS atingiram 327,41 e 326,91 GFlops respectivamente.

As aplicações READ.ONLY (linha vermelha), BASE (linha preta) e BASE.INT.Z (linha azul), obtiveram desempenho linear para todos os tamanhos de estêncil e todos os tamanhos de matriz utilizados em nossos testes. A otimização READ.ONLY obteve desempenho similar a obtida pelas otimizações SHARED.INT.Z.REGISTERS e READ.ONLY.INT.Z.REGISTERS na execução com o estêncil de 13 pontos, tendo desempenhos cada vez melhores de acordo com o aumento do tamanho do problema. Porém, a medida que o tamanho do estêncil aumenta, esta otimização perde desempenho, apresentando performance similar a obtida pela otimização BASE no estêncil de 31 pontos com 2048 pontos no eixo-X.

4.2. Avaliação da Eficiência Energética

A eficiência energética é uma restrição na viabilidade da construção de novos sistemas de CAD. Vários estudos no estado da arte avaliam abordagens de *software* e *hardware* para melhorar a eficiência energética. Além destas abordagens, nossa pesquisa visa compreender como o uso da memória afeta a eficiência energética.

As otimizações READ.ONLY.INT.Z.REGISTERS (linha bordô) e SHARED.INT.Z.REGISTERS (linha cinza) aumentaram a desempenho para todos os tamanhos de estêncil utilizados (Figura 1). Eles também apresentam um aumento na eficiência energética durante a execução das aplicações. Desta forma, estas otimizações obtiveram a maior eficiência energética (Figura 2).

Aplicando READ.ONLY.INT.Z.REGISTERS e SHARED.INT.Z.REGISTERS no estêncil de 13 pontos com eixo-X de 2048 pontos, a eficiência energética foi de 3 e 3,3 GFlops/W respectivamente. Obtendo um ganho de 50% e 39% quando o tamanho do estêncil utilizado é de 31 pontos com 2048 pontos no eixo-X, obtendo 4,5 e 4,6 GFlops/W.

A otimização READ.ONLY.INT.Z (linha laranja) obteve uma eficiência similar as das aplicações READ.ONLY.INT.Z.REGISTERS e SHARED.INT.Z.REGISTERS no estêncil de 13 pontos. Porém, quando o tamanho do estêncil aumenta, a eficiência reduz, obtendo uma eficiência energética inferior a obtida pela otimização BASE para o estêncil de 31 pontos com eixo-X de 2048 pontos.

A eficiência energética reduz quando o tamanho do estêncil aumenta. Isto pode estar relacionado a uma sobrecarga na unidade de controle da cache somente leitura, forçando interrupções na execução da aplicação enquanto aguarda pelo carregamento de dados. Então reduzindo a eficiência energética e a desempenho (Figuras 2 1).

A otimização SHARED.INT.Z apresenta uma eficiência quase linear, sendo independente do tamanho do eixo-X. Esta aparente estabilidade da eficiência energética está relacionada ao aumento de potência necessária para a execução, bem como o ganho de desempenho obtido por esta otimização.

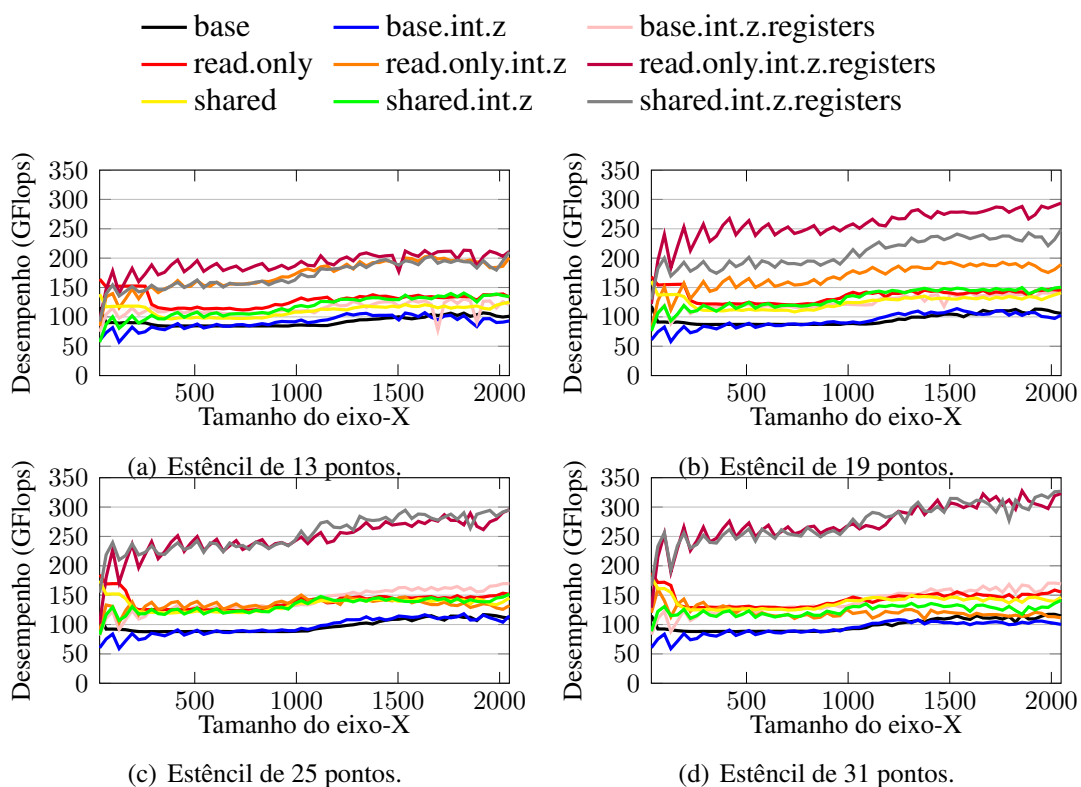


Figura 1. Desempenho de diferentes tamanhos de stencil.

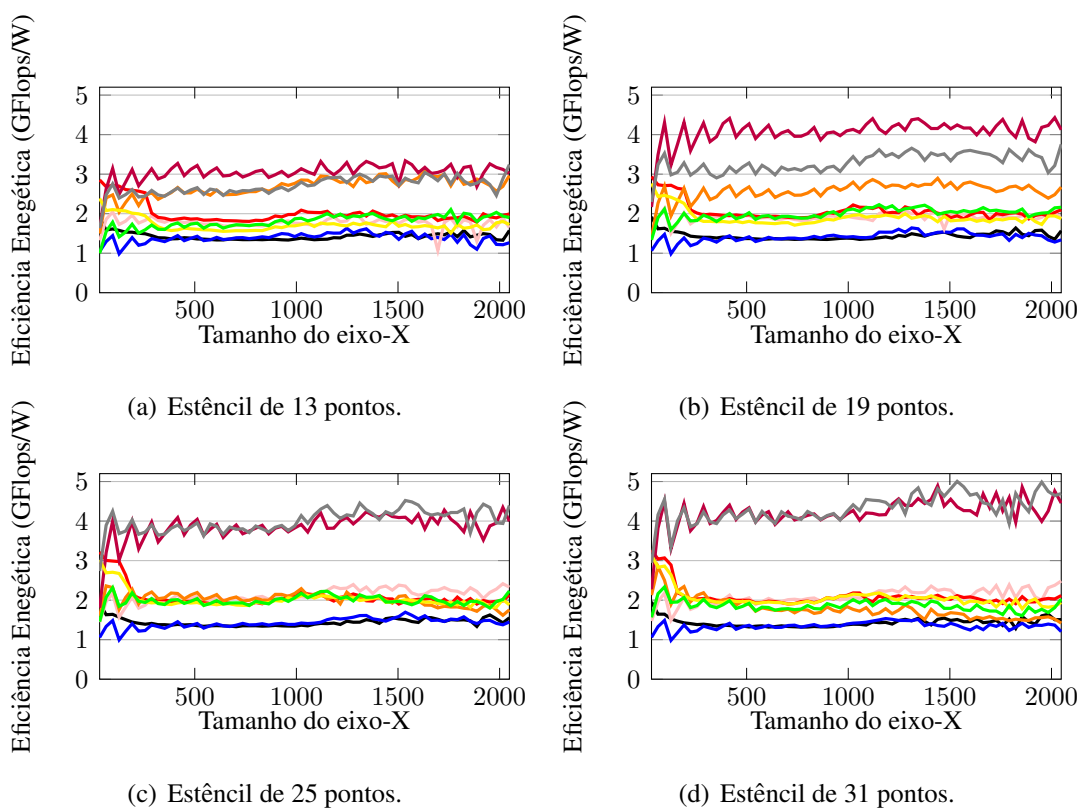


Figura 2. Eficiência energética obtida por cada aplicação.

5. Conclusão

A computação de estênceis apresenta baixa intensidade computacional, uma vez que estas aplicações são tipicamente *memory-bound*. Desta forma, otimizações de memória são importantes para utilizar as memórias mais rápidas disponíveis na GPU e aumentar sua eficiência energética.

Neste artigo, aplicamos otimizações para aplicações de estêncil que usam diferentes níveis de memória de GPUs, com a finalidade de analisar o impacto do uso dos diferentes níveis de memória no desempenho e na eficiência energética das aplicações. As otimizações aplicadas permitem o uso da cache somente leitura e também o uso da memória compartilhada. Além disto, a outra otimização proposta permite a combinação da internalização do eixo-Z da aplicação de estêncil com o reuso dos registradores da arquitetura GPU.

A principal contribuição deste artigo é o aumento do desempenho e o aumento da eficiência energética de aplicações de estêncil por meio da melhoria do algoritmo e da melhoria do acesso a memória. Nossos algoritmos de computação de estênceis otimizados para GPUs obtiveram um aumento de desempenho de até 2,85. Os resultados computacionais também destacam uma economia de energia de cerca de 20%. Além disso, usando diferentes cargas de trabalho de estêncil, nossos métodos e otimização aumentam a eficiência energética em até 50%.

Mudanças na arquitetura de GPU, como no caso da introdução da cache somente leitura na arquitetura Kepler, podem gerar mudanças nos resultados apresentados neste trabalho. Em trabalhos futuros, planejamos investigar métodos e otimizações para obter ganhos em aplicações de estêncil sobre novas arquiteturas GPU e também para arquiteturas Intel Xeon Phi.

Referências

- [Bergman et al. 2008] Bergman, K., Borkar, S., Campbell, D., Carlson, W., Dally, W., Denneau, M., Franzon, P., Harrod, W., Hill, K., Hiller, J., et al. (2008). Exascale computing study: Technology challenges in achieving exascale systems. *Defense Advanced Research Projects Agency Information Processing Techniques Office (DARPA IPTO), Tech. Rep*, 15:1–297.
- [de la Cruz and Araya-Polo 2011] de la Cruz, R. and Araya-Polo, M. (2011). Towards a multi-level cache performance model for 3d stencil computation. *Procedia Computer Science*, 4:2146–2155.
- [Hamilton et al. 2015] Hamilton, B., Webb, C. J., Gray, A., and Bilbao, S. (2015). Large stencil operations for gpu-based 3-d acoustics simulations. *Proc. Digital Audio Effects (DAFx), (Trondheim, Norway)*, pages 292–299.
- [Maruyama and Aoki 2014] Maruyama, N. and Aoki, T. (2014). Optimizing stencil computations for nvidia kepler gpus. In *Proceedings of the 1st International Workshop on High-Performance Stencil Computations, Vienna*, pages 89–95.
- [Nasciutti and Panetta 2016] Nasciutti, T. C. and Panetta, J. (2016). Impacto da arquitetura de memória de gpgpus na velocidade da computação de estênceis. *XVII Simpósio de Sistemas Computacionais*, pages 64–75.

Estudo comparativo do desempenho da transferência de dados nas arquiteturas RINA e TCP/IP

Djalma A. Lima Filho, José A. Suruagy Monteiro

Centro de Informática – Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Recife - PE - Brasil

dalf@cin.ufpe.br, suruagy@cin.ufpe.br

Abstract. *The current Internet architecture has limitations that interfere with its development. Due to the accentuated growth of new applications demands, the TCP/IP (Transmission Control Protocol / Internet Protocol) model presents limitations making it complex. The Recursive InterNetwork Architecture (RINA) is an architecture proposal for the Internet of the future based on inter process communication that proposes solutions to solve the main limitations in the conventional Internet structure. This paper presents a comparative study of data transfer performances in RINA and TCP/IP architectures. The results obtained with the experiments lead to the conclusion that RINA presents a better performance in relation to the TCP/IP architecture when the delays are insufficient to interfere in the transmission of the data. Moreover, through the exploratory analysis of the data, when the large delays, RINA, through its control mechanisms, solves the congestion problem more effectively due to its recursive nature in relation to the TCP / IP model.*

Resumo. *A arquitetura atual da Internet apresenta limitações que interferem no seu desenvolvimento. Devido ao crescimento acentuado de novas demandas de aplicações, o modelo TCP/IP (Transmission Control Protocol / Internet Protocol) apresenta limitações tornando-o complexo. A Arquitetura Recursiva Interredes (RINA) é uma proposta de arquitetura para a Internet do futuro baseada na comunicação entre processos que propõe soluções para resolver as principais limitações na estrutura da Internet convencional. Este artigo apresenta um estudo comparativo do desempenho da transferência de dados nas arquiteturas RINA e TCP/IP. Os resultados obtidos levam à conclusão de que a arquitetura RINA apresenta um desempenho melhor em relação à arquitetura TCP/IP quando os atrasos de propagação são insuficientes para interferir na transmissão dos dados. Além do mais, através da análise exploratória dos dados, quando observados grandes atrasos, RINA, através dos mecanismos de controle, resolve com mais eficácia o problema do congestionamento devido à sua natureza recursiva em relação ao modelo TCP/IP.*

1. Introdução

A Internet, até o momento, tem evoluído através de “remendos” e essas modificações realizadas na arquitetura têm como finalidade atender as necessidades das aplicações. A criação de mecanismos de serviços integrados (IntServ) como também os serviços diferenciados (DiffServ) que têm como características oferecer qualidade de serviço para as aplicações, além da inserção de *caches* no interior da rede com intuito de reduzir o volume de tráfego e os atrasos são alguns dos exemplos de “remendos” realizados na

arquitetura tradicional. Um dos problemas não solucionados na Internet é o endereçamento IP, pois de acordo com a semântica atual não há uma separação entre identificação e localização dos pontos de conexão [Moreira, 2009].

De acordo com Pan, Paul e Jain (2011), devido aos problemas reportados e às dificuldades para atender novas demandas das aplicações, novas arquiteturas de redes, direcionadas para o que está sendo chamado de Internet do Futuro, estão sendo propostas com a finalidade de resolver esses problemas não solucionados. Dentre elas, encontra-se a arquitetura RINA (*Recursive InterNetwork Architecture*) cujo princípio básico é a comunicação entre processos IPC (*InterProcess Communication*). Cada processo IPC consiste em conjuntos distintos de tarefas que estão associadas à transmissão e gerenciamento dos dados. Este trabalho tem como objetivo realizar um estudo comparativo do desempenho do serviço de transferência de dados nas arquitetura RINA e TCP/IP. Dessa forma, pretende-se analisar do ponto de vista dos usuários da rede, a eficiência no tempo da entrega da informação de maneira confiável através das mensagens de tamanhos diferentes e estabelecimento da conexão para a transferência dos dados. Na análise são considerados métodos de controle de dados e processos de comunicação para transferência de dados.

O restante deste artigo está organizado da seguinte maneira: na Seção 2 é abordada a arquitetura RINA expondo suas características. Na Seção 3 apresentamos o estado da arte da arquitetura RINA indicando os trabalhos relacionados que serviram como base de pesquisa para o presente artigo, enquanto que na Seção 4 descrevemos a metodologia de avaliação, cuja descrição e avaliação dos resultados são apresentados na Seção 5. Por fim, na Seção 6, apresentamos nossas conclusões e trabalhos futuros.

2. A arquitetura RINA

Os princípios da arquitetura RINA foram apresentados em [Day,2008]. RINA defende o uso de uma única camada chamada DIF (*Distributed IPC Facility*) que fornece serviço de comunicação entre processos, IPC, de maneira distribuída, cobrindo um dado escopo. Outras camadas de DIF com as mesmas funcionalidades podem ser aplicadas de forma recursiva cobrindo diferentes escopos. Segundo Day (2008) cada processo IPC que precisa estabelecer um fluxo de comunicação, tem que fazê-lo através de um outro processo subjacente através de uma DIF. Cada processo consiste em três conjuntos distintos de tarefas que lidam com aspectos diferentes. Estes conjuntos de tarefas são armazenadas em uma base de dados conhecida como RIB (*Resource Information Base*). A transferência de dados IPC utiliza o módulo RMT (*Relaying and Multiplexing Task*) que gerencia o encaminhamento e a multiplexação de todas as PDUs (*Protocol Data Units*). O controle de transferência IPC implementa o controle de erro e de fluxo, além de monitorar os parâmetros de transferência de dados por fluxo que é realizado pelo protocolo EFCP (*Error and Flow Control Protocol*). A gerência IPC implementa o protocolo de aplicação distribuído comum para consultar e atualizar a RIB.

Os protocolos na RINA utilizam mecanismos cujos comportamentos são definidos por políticas. Por exemplo, um mecanismo utilizado pelo protocolo EFCP é o controle de fluxos e congestionamento. Por outro lado, a alocação desses fluxos é uma política implementada pelo mesmo protocolo. Neste contexto, o mecanismo se refere à parte invariável, enquanto que a política pode ser alterada de acordo com a necessidade. Diante disso, a arquitetura se torna menos complexa em relação ao modelo convencional por utilizar um conjunto básico de mecanismos para diversos escopos [Day, 2008].

De acordo com Day (2008), RINA apresenta simplicidade em sua estrutura devido a atuação dos mecanismos e políticas trabalharem de maneira isoladas.

3. Trabalhos relacionados

Trabalhos de avaliação direcionados com a RINA têm sido realizados e um deles se refere ao trabalho de [Vrijders, 2014] o qual propõe uma avaliação de desempenho no protótipo IRATI, direcionado à plataforma GNU/Linux. O trabalho analisou cenários em relação ao empilhamento de camadas DIFs na arquitetura RINA. O resultado dessa avaliação demonstrou que é possível empilhar várias DIFs na estrutura da RINA para trabalhar com datacenter distribuído, além disso a possibilidade de implementar diversas funcionalidades tais como segurança, *multihoming* e roteamento nas DIFs. Outro trabalho relacionado é o de [Maffione, 2016] que concerne à programabilidade de uma API para desenvolvimento de políticas e avaliação de desempenho dos algoritmos de controle de congestionamento, especificamente, TCP-RED¹ e Jain-PS² também direcionado para o protótipo. Porém, o foco maior é na avaliação dos algoritmos de controle de congestionamento os quais foram implementados no *framework* RINA-SDK. Os resultados das avaliações foram semelhantes no que se refere às propriedades do tamanho de fila. No trabalho de [Vesely, 2015] é demonstrado apenas as funcionalidades no simulador RINASim, porém serviu como base para a pesquisa atual. O presente trabalho se diferencia dos demais por realizar avaliação de desempenho do serviço de transferência de dados através de um ambiente de simulação com objetivo de avaliar o comportamento das arquiteturas de redes RINA e TCP/IP.

4. Metodologia de Avaliação

Nesta seção é aplicada a abordagem sistemática proposta por Raj Jain (1991). Conforme mencionado anteriormente, o **objetivo** deste estudo é comparar o desempenho da transferência confiável de dados nas arquiteturas RINA e TCP/IP, no cenário de uma rede de longa distância (WAN – *Wide Area Network*). Para garantir a confiabilidade na transmissão dos dados foi adotada a variação TCP Tahoe [Fall; Floyd, 1996], pois trata a congestão da rede com prevenção e retransmissão dos pacotes. Neste cenário, todos os enlaces possuem a mesma capacidade de transmissão de 100 *Mbps* e as mesmas frações dos retardos de propagação. Assim, os pacotes saem do *host1* e vão sendo transferidos passando pelos saltos intermediários representados pelos roteadores até chegar no *host2* conforme visto na Figura 1. Para este serviço de transferência, a **métrica** avaliada refere-se aos tempos de ida e volta em segundos (s), conhecida como RTT (*Round Trip Time*).

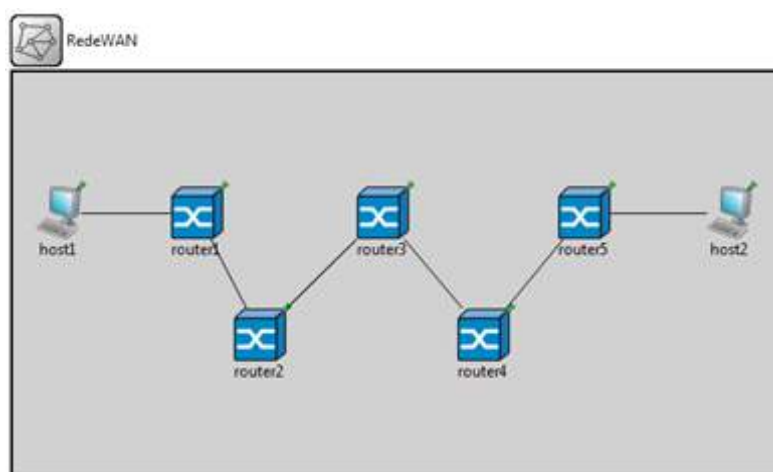


Figura 1. Topologia de avaliação – Rede WAN

¹ *Random Early Detection + TCP congestion avoidance algorithm*

² Jain-PS: Política de notificação de congestionamento explícito. Disponível em: http://ict-pristine.eu/wp-content/uploads/2013/12/pristine_d62-use-case-trials-and-business-impact_draft.pdf.

Dentre os parâmetros que impactam nos RTTs foram escolhidos os **fatores e níveis** apresentados na Tabela 1. O primeiro fator, refere-se à escolha da arquitetura dado que se pretende efetuar um estudo comparativo entre as mesmas. Foram escolhidos ainda como fatores o tamanho das mensagens e o atraso de propagação entre a origem e o destino para contemplar a variedade de tamanhos de mensagens para diferentes aplicações e diferentes escopos de redes WAN.

Tabela 1. Fatores e níveis avaliados nas arquiteturas.

#	Fatores	Níveis
1	Arquitetura de Rede	RINA, TCP/IP
2	Tamanho das Mensagens (<i>SDU Size</i>)	512, 1470 Bytes
3	Atraso de Propagação (<i>Delay</i>)	0, 32, 64, 128 e 256 ms

Para a realização deste estudo foi escolhida como **técnica de avaliação**, a simulação. O cenário da Figura 1 foi implementado no OMNet++, versão 5.0, utilizando *frameworks* diferentes. Para avaliação da arquitetura convencional (TCP/IP) foi utilizado o *framework* Inet³, versão 3.4.0, enquanto que para a RINA foi utilizado o *framework* RINASim⁴, versão do mês de fevereiro de 2017. Foi realizado um **projeto experimental** fatorial completo onde cada experimento de simulação teve duração de 5min coletando 56 amostras para as arquiteturas RINA e TCP/IP. Os **resultados** foram analisados utilizando análise exploratória conforme descrito na próxima seção.

5. Descrição e avaliação dos resultados

Para checar a normalidade dos dados coletados neste trabalho foi aplicado o teste de aderência *Kolmogorov-Smirnov* [Lilliefors, 1967]. Com a aplicação do teste de aderência observou-se que os dados não apresentavam uma distribuição normal e, portanto, sendo necessário aplicar o tipo de teste não paramétrico da estatística inferencial. Diante dessa análise foi aplicado o teste não paramétrico de *Wilcoxon Signed Rank* [Wilcoxon, 1945]. A finalidade desse teste é analisar as medianas em detrimento das médias. Portanto, para analisar as medianas foi necessário constituir uma análise exploratória dos dados tais como intervalos de confiança (IC), médias e medianas os quais estão apresentados nas Tabelas 2 e 3 para ambas as arquiteturas.

Tabela 2. Análise exploratória - mensagens de 512 Bytes – RINA & TCP/IP

Delay	Média (RINA)	IC (95%) (RINA)	Mediana (RINA)		Média (TCP/IP)	IC (95%) (TCP/IP)	Mediana (TCP/IP)
0ms	0,2668	(0,0324; 0,2886)	0,0432		0,2757	(0,0593; 0,3225)	0,0489
32ms	0,3074	(0,1376; 0,3272)	0,0593		0,2966	(0,0872; 0,3699)	0,0575
64ms	0,3450	(0,1952; 0,3648)	0,1386		0,3338	(0,1786; 0,4589)	0,1256
128ms	0,4709	(0,3104; 0,5101)	0,1614		0,4782	(0,2765; 0,5988)	0,1634
256ms	0,5107	(0,4408; 0,5405)	0,2007		0,5186	(0,2967; 0,7984)	0,2043

³ Framework Inet disponível em <https://inet.omnetpp.org/Download.html>

⁴ Framework RINASim disponível em <https://github.com/kvetak/RINA/zipball/master>

Tabela 3. Análise exploratória - mensagens de 1470 Bytes – RINA & TCP/IP

Delay	Média (RINA)	IC (95%) (RINA)	Mediana (RINA)		Média (TCP/IP)	IC (95%) (TCP/IP)	Mediana (TCP/IP)
0ms	0,3222	(0,2889; 0,3845)	0,0702		0,3144	(0,0444; 0,3538)	0,0708
32ms	0,3595	(0,2946; 0,4088)	0,1354		0,3344	(0,0537; 0,4239)	0,1394
64ms	0,4117	(0,3224; 0,4787)	0,1897		0,4204	(0,1335; 0,4653)	0,1887
128ms	0,5137	(0,3299; 0,5987)	0,2543		0,5211	(0,2342; 0,6224)	0,2555
256ms	0,6201	(0,3843; 0,8233)	0,3966		0,6222	(0,5673; 0,8245)	0,3988

Para análise dos dados foram formuladas as seguintes hipóteses:

Hipótese Nula (H_0) = A arquitetura RINA apresenta desempenho igual ou superior do que a arquitetura TCP/IP referente aos tempos de ida e volta dos fluxos de dados.

Hipótese Alternativa (H_1) = A arquitetura RINA apresenta desempenho inferior do que arquitetura TCP/IP referente aos tempos de ida e volta dos fluxos de dados.

$$\text{Hipóteses} = \begin{cases} H_0 : \Delta \geq 0 \\ H_1 : \Delta < 0 \end{cases}$$

= {Diferença entre as medianas das arquiteturas RINA e TCP/IP}

O *p-value* é o menor nível de significância que conduz à rejeição da hipótese nula [Montgomery, 2012]. O resultado do *p-value* do teste de *Wilcoxon* apresentou valor do *p-value* = **0,1562**. Em vista disso, como o *p-value* é maior do que o nível de significância aplicado (0,05) concluímos com 95% de confiança que a arquitetura RINA apresentou um desempenho superior ou igual a arquitetura TCP/IP para os tempos de ida e volta dos fluxos de dados com 512 *bytes* em diferentes atrasos de propagação no modo fim-a-fim. Para mensagens com tamanho de 1470 *bytes* o resultado do *p-value* do teste de *Wilcoxon* aplicado apresentou *p-value* = **0,0625**, o que significa dizer que para tamanho de mensagens maiores, a arquitetura RINA apresentou também um desempenho melhor ou igual do que arquitetura TCP/IP. Para concluir a análise, é possível observar na coluna “Mediana” (RTTs) que os tempos de ida e volta dos fluxos de dados da arquitetura RINA se aproximam dos tempos de ida e volta dos fluxos de dados em relação a arquitetura tradicional, porém quando os atrasos nos links são insignificantes, a arquitetura RINA transfere com mais rapidez os dados apresentando RTTs melhores que arquitetura convencional. Por outro lado, quando esses atrasos começam a aumentar, a arquitetura RINA através do protocolo EFCP aciona mecanismos de controle para tratar o congestionamento e garantir a confiabilidade na entrega dos pacotes até o destino. Desta maneira, é possível observar nas Tabelas 2 e 3 que com atrasos de 128 e 256ms, a arquitetura RINA apresentou desempenho melhor devido à sua característica recursiva de resolver os problemas de congestão, pois na RINA, o controle é realizado pelo protocolo EFCP, enquanto que as políticas do RMT detectam a congestão devido a grandes atrasos e, em seguida, marca as PDUs transmitindo-as com o indicador de congestionamento. Por conseguinte, o EFCP aciona o mecanismo de redução da taxa de transmissão de fluxo que

em seguida aciona o processo IPC nas DIFs superiores com finalidade de aplicar suas próprias políticas de controle de prevenção do congestionamento. Por fim, esse processo continua de maneira recursiva na arquitetura até resolver todo o problema em cada uma das DIFs e não apenas na comunicação fim-a-fim.

6. Conclusões

Neste artigo realizamos um estudo comparativo do desempenho de transferência de dados nas arquiteturas de redes RINA e TCP/IP. O objetivo desse trabalho foi mensurar o desempenho nas arquiteturas de redes mencionadas analisando a métrica RTT de acordo com os fatores que representam o serviço de transferência de dados no cenário que caracteriza uma rede de longa distância. Os resultados dos testes de hipóteses permitiram inferir que a RINA apresenta um desempenho melhor para grandes atrasos. Como trabalhos futuros, pretendemos trabalhar com múltiplos fluxos e utilizar outros mecanismos de controle de congestionamento como a variação TCP Reno, pois a mesma apresenta mecanismos de inicialização lenta, prevenção de congestionamento, além de retransmissão e recuperação rápida, enquanto que a variação utilizada, TCP Tahoe, consta apenas com os mecanismos de inicialização, prevenção e retransmissão.

Referências

- Day, J. (2008). *Patterns in network architecture: a return to fundamentals*. Pearson Education.
- Fall, Kevin; Floyd, Sally. Simulation-based comparisons of Tahoe, Reno and SACK TCP. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, v. 26, n. 3, p. 5-21, 1996.
- Lilliefors, Hubert W. On the Kolmogorov-Smirnov test for normality with mean and variance unknown. *Journal of the American Statistical Association*, v. 62, n. 318, p. 399-402, 1967.
- Maffione, Vincenzo et al. A Software Development Kit to exploit RINA programmability. In: *Communications (ICC), 2016 IEEE International Conference on*. IEEE, 2016. p. 1-7.
- Montgomery, D. C., and G. C. Runger. "Estatística e Probabilidade para Engenheiros." (2012). Grupo Gen-LTC.
- Moreira, M. D., Fernandes, N. C., Costa, L. H. M. K., & Duarte, O. C. M. B. (2009). *Internet do futuro: Um novo horizonte*. Minicursos do Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores-SBRC, 2009, p. 1-59.
- Pan, J.; Paul, S.; Jain, R. A Survey of the Research on Future Internet Architectures. *Communications Magazine, IEEE*, v. 49, , p. 26–36, July 2011.
- Raj Jain. *The Art of Computer Systems Performance Analysis: Techniques for Experimental Design, Measurements, Simulation, and Modeling*. Wiley Computer Publishing, John Wiley & Sons, Inc., 1991.
- Vesely, V. et al. Skip This Paper - RINASim: Your Recursive InterNetwork Architecture Simulator. *Proceedings of the "OMNeT++ Community Summit 2015*, p. 1–5, 2015.
- Vrijders et al., Experimental evaluation of a Recursive InterNetwork Architecture prototype, 2014 IEEE Global Communications Conference, Austin, TX, 2014, pp. 2017-2022.doi: 10.1109/GLOCOM.2014.7037104
- Wilcoxon, Frank. Individual comparisons by ranking methods. *Biometrics bulletin*, v. 1, n. 6, p. 80-83, 1945.

Performance Evaluation of Wearable Computing Frameworks

Michelle Cacais, Danielo G. Gomes,
Paulo Armando C. Aguilar, Rossana M. C. Andrade

¹Universidade Federal do Ceará (UFC)
Grupo de Redes de Computadores, Engenharia de Software e Sistemas (GREat)
Av. Mister Hull, s/n – Campus do Pici – Bloco 942-A
60455-760 – Fortaleza – CE – Brazil

{cacais, dgomes, paulo, rossana}@great.ufc.br

Abstract. *Internet of Things (IoT) aims to connect multiple devices and enable communication on a global scale. In this context, wearable computing turns into one of the most imperative technologies for data capture and transfer. Even though many solutions exist for fast development of wearable applications, it is difficult to know which one is the best for each situation. In this paper, we evaluated the performance of three wearable computing frameworks: SPINE, BNSM and IBM Bluemix. We used performance metrics such as data accuracy, memory footprint and energy consumption in a movement recognition scenario. Results have shown that, among the analyzed frameworks, (i) BNSM is the best one concerning energy-efficiency; (ii) IBM Bluemix is the best one for data accuracy. Both frameworks presented interesting results in terms of memory footprint.*

1. Introduction

In the context of Internet of Things (IoT), a lot of devices have been changed into smart objects to perform tasks in human routine. The idea of access information everywhere as well the low cost of body sensors have motivated the creation of wearable systems related to many fields, such as healthcare, e-sports, e-fitness, entertainment and interactive games. Wearable computing is one of the IoT core technologies, in which "things" (e.g. a body sensor) interact with each other to share information and synchronize processes. Wearable computing also brings a way of staying connected and being constantly monitoring through the garment or other accessory attached to the body.

Wearable computing is useful to collect and provide data about people activity and behavior. However, developing artifacts using wearable technology is a difficult task due to the challenge of managing body sensors, embedded systems and network protocols. The developers have to know about software, hardware and sensor networks to create functional wearable systems. As a consequence, a wearable device becomes complex and hard to reuse. In addition, it is difficult to choose a certain framework for fast prototyping and development of wearable appliances. Besides, it is still not easy to find surveys or studies related to the performance of the current wearable approaches, what makes it harder to find support to develop wearable systems.

Here we propose a systematic performance evaluation of three selected wearable computing frameworks by using system metrics such as memory and energy consumption, bandwidth and data accuracy. The evaluated frameworks have been chosen from criteria such as code availability, relevance, freshness and general use. We used a real body

sensor for motion capture. Furthermore, we take into account some qualitative aspects of the frameworks such as easy of development, debugging and reuse.

2. IoT and Wearable Computing

The term Internet of Things refers to the idea of everyday objects aware of the context and able to collect and exchange data using the Internet. This technology supports the connection of real-world devices to sensors, microprocessors and actuators to send, receive and process many types of data, such as temperature, humidity, movement, and other variables [Borgia et al. 2016]. In this context, the range of applications that can be created is huge, involving the real and the virtual to create smart environments by modifying energy consumption, transport, and even entire cities with artifacts interacting and cooperating. The goal is to connect smart objects anywhere, anytime, using any network and any service.

IoT gives support to deploy smarter cities, environmental monitoring and urban computing, automotive and wearable computing. The last one is related to devices worn to the body, constantly on, non-monopolized, aware of the context and able to communicate with the user, allowing its control [Hussein 2015]. Wearable computing brings the advantages of pervasive computing by placing sensory resources in a simple way, like embedded devices in clothes, for example. This way, wearable offers new models of interaction with the user, unlike smartphones or tablets that are designed for hand-held use. Because of this feature, wearable is often designed to be heads-up and speech activated.

Wearable computing also brings some challenges, as energy consumption, heterogeneity of devices and memory footprint. The development of wearable infrastructures involves different hardware, what means dissimilar accuracy, frequency and transmission rate. Data accuracy is also a challenge of pre-processing. This procedure involves noise removal, motion artifacts, data formatting, normalization and synchronization. In addition, body sensors are rich sources of data, so the storage system has to be capable to support the wearable workload or has to be adapted to dynamically manage limited resources. The developer has to keep in mind that it will be faced these challenges with a wearable infrastructure.

3. Material and methods

In this paper, we analyzed three wearable computing frameworks to evaluate their performance. For a fair evaluation, we implemented an application for motion recognition using each framework as a case study. The main goal of this approach is to check how these wearable solutions behave to solve some resource constraints, such as memory footprint, energy consumption and data accuracy. We measured and simulated.

3.1. Selected frameworks

There are a lot of solutions for wearable computing in the literature. To select and chose the wearable frameworks to be evaluated, we made a sort of simple systematic review using search strings as "wearable computing framework", "wearable computing rapid development" and "body sensor networks framework". The research generated a large number of works, including frameworks, architectures and libraries faced to many proposes, mainly in the area of health care. To limit this number, it has been chosen titles more generic, it means, those that were not concerned with solving only specific problems.

Also, It has been taken into account availability of the code, freshness and relevance. At the end, three frameworks have been chosen: SPINE [Bellifemine et al. 2011], BNSM [Iyengar 2009] and IBM Bluemix [Gheith et al. 2016].

3.1.1. SPINE

The framework named Signal Processing In Node Environment (SPINE) [Bellifemine et al. 2011] is a domain-specific tool for rapid prototyping of WBSN applications. SPINE is an open source project that gives support to local and remote applications with lightweight Java APIs, including protocols, utilities and data processing functions. It can be used to manage sensor nodes or issue service requests. It also allows the rapid prototyping of distributed Body Sensor Networks (BSN) algorithms for data classification. SPINE works with multiple sensor nodes and one coordinator, which acts like a gateway and manages the networks, the collection and analysis of data.

3.1.2. BNSM

The work described in [Iyengar 2009] presents the framework called Body Network Service Manager (BNSM), an appliance that focuses on defining abstractions to allow researchers of different areas to develop using BSNs. It creates an abstraction layer between the application and the nodes named Network Service Manager (NSM), which coordinates the network and responds by generating events. The framework can trigger many events asynchronously, as arrival of data, network status updates and error notifications. The NSM includes the discovery of nodes in the network, processing of requests, disseminating of data and query network status. The nodes can perform tasks as send or receive packets, sample sensors, store data and perform computation, all of these controlled by managers.

3.1.3. IBM Bluemix

Bluemix is the cloud offered by IBM [Gheith et al. 2016]. It consists in a platform for cloud-based mobile applications. IBM provides services as file storage, application authentication, push notifications, and server-side application logic. It is possible to access these through easy-to-use client software development kits (SDKs) available for download. This framework facilitates the creation of wearable devices using cloud services, facilitating the connection and extensibility. The cloud is based on Platform as a Service (PaaS) and it is private. The server-side of IBM Bluemix was implemented with components as stateless services for scalability and fault resilience.

3.2. Case study: human activity recognition

In this case study, each framework have been used to design an application for Android devices to recognize and classify human movement. Literature includes ways to classify gestures with camera and gravity sensors. In this experiment, the sensor used was the accelerometer, a hardware that measure the acceleration force in m/s^2 , applied to a device on three physical axes (x, y and z), including gravity. The motions are classified into

sitting, standing, walking and falling for the measurements. The application has to receive data from the sensor and identify in which category it is classified. The goal with this case study is to verify how the frameworks simplify implementation in a wearable context.

4. Performance Evaluation

We made real measurements using a device and performing the actions for recognition. The goal of this task was to verify how a real application behave in a real context using the frameworks. It had been made three Android apps using each framework. The tests were made using an actual measurement with a smartphone attached to the belt of a person and the actions were performed for 20 times each one. The results was obtained with series of movements made of a person with a smartphone. Each movement was executed 20 times, obtaining 80 samples in total. The time for starting the movement until the end of recognition took about 35 seconds, and the average time to complete one action was 12 minutes for each type of movement.

The system parameters include a smartphone called Samsung J1, with a 1230 mAh battery, a processing power of Dual-Core 1.2 GHz and operating system Android 5.0 (Lollipop). The server side was implemented in Java Language for both SPINE and BNSM, and for IBM Bluemix, it was used the cloud of the company, with no need of install or configuration. The workload parameters include the number of data (20 samples for each movement), number of possible movements (4), time in seconds necessary to complete one movement and total time of execution.

4.0.1. Results

The consumption of energy has been measured for all cases using the frameworks. Figure 5 shows the consumption of battery used to capture one movement (about 35 seconds). It is possible to note that BNSM has had the best when compared to the other ones. This happened because of the functions and events management of the framework. The solution provided by IBM also had good results. SPINE was the framework that consumed more battery. It may occurred because of the centralized architecture of this one.

The consumption of memory is a problem of allocation. Figure 4.0.1 shows the results of the tests using the case study. This procedure measured the size occupied of the random-access memory (RAM) of the smartphone. Both frameworks had similar results, but it is possible to see that the solution of IBM Bluemix consumed less memory compared to the others. SPINE had better results than BNSM because of its dynamic-memory management.

Table 1 shows the result of accuracy of the frameworks. That depends of the algorithm used in each framework. In order to obtain reliable data, it was used the solutions provided for them in their work. SPINE uses a motion recognition algorithm called K-Nearest Neighbor (KNN). For BNSM, it was utilized the model of classification that the authors provided. IBM also provided an application for motion recognition. At the end of the tests, all frameworks had good results, but IBM was more accurate.

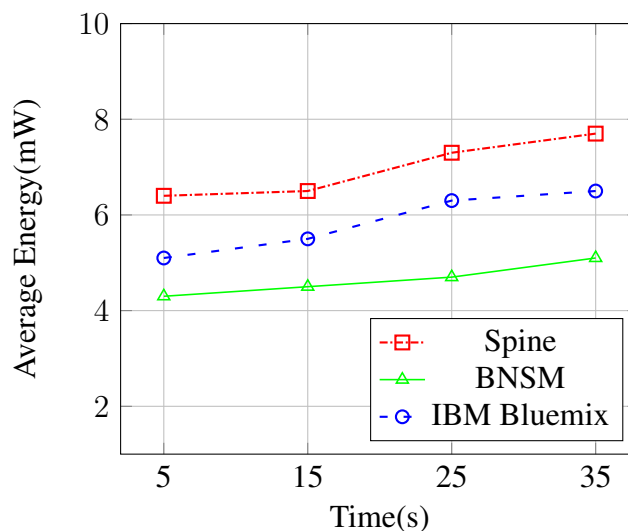


Figure 1. Energy consumption (real measurements).

Table 1. Accuracy of real data

	Sitting	Standing	Walking	Falling
SPINE	95%	93%	93%	99%
BNSM	95%	95%	96%	100%
IBM	96%	97%	98%	100%

4.1. Analyses

The usage of frameworks involves abstraction of the code, and the main goal of using them is to facilitate development of computing projects and rapid prototypes. The frameworks analyzed in this experiment meet this expectation, because they provide resources that minimize the need of generate code of the server-side, the nodes and the communication between sensors, gateway and cloud. However, it is not a trivial task to configure them. There is the need of correct some errors, unavoidable when dealing with portability. In this context IBM Bluemix solution is the easier to use.

The results of the real measurements have shown that BNSM is the most appropriated for energy-efficiency and IBM Bluemix is the one that had better results with accuracy and memory footprint, in a context of a simple application of movement recognition. The simulation had similar results compared to the real measurement, what make more reliable the data obtained in this procedure. It is possible to conclude that both frameworks obtained good results with this parameters analyzed. Table 2 shows the results with the confidence interval, estimated by the number of repetitions and samples.

Table 2. Average of the results with a confidence interval

	Energy consumption (mW/s)	Memory footprint (KB)	Accuracy (%)
SPINE	6.9 ± 1.7	4.2 ± 0.8	93 ± 1
BNSM	4.8 ± 1.7	4.5 ± 0.8	95 ± 1
IBM	5.8 ± 1.7	3.2 ± 0.8	97 ± 1

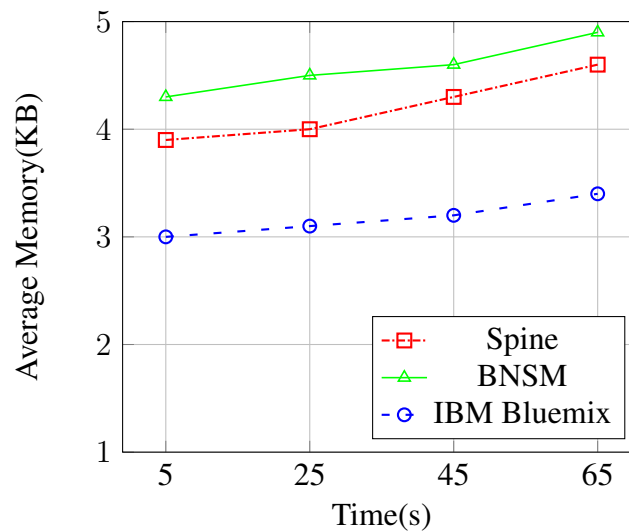


Figure 2. Memory footprint (real measurements).

5. Conclusion

The frameworks evaluated in this paper showed as good options to be used in wearable development. All of them help with heterogeneity of protocols and nodes. Also, all frameworks provide good documentation and examples of applications using the code available. The solution provided by IBM Bluemix was the easiest to use for rapid prototyping, but it is not possible to have access to the server-side, what limits the possibilities of development and the control over the applications. SPINE and BNSM have shown similar results, but the second one was more efficient for energy saving.

Acknowledgments

Michelle Cacaís received financial support due scholarship from CAPES (process #1589313). Danielo G. Gomes and Rossana M. C. Andrade are CNPq Fellows.

References

- Bellifemine, F., Fortino, G., Giannantonio, R., Gravina, R., Guerrieri, A., and Sgroi, M. (2011). Spine: a domain-specific framework for rapid prototyping of wbsn applications. *Software: Practice and Experience*, 41(3):237–265.
- Borgia, E., Gomes, D. G., Lagesse, B., Lea, R., and Puccinelli, D. (2016). Special issue on “internet of things: Research challenges and solutions. *Computer Communications*, 89–90:1 – 4.
- Gheith, A., Rajamony, R., Bohrer, P., Agarwal, K., Kistler, M., Eagle, B. W., Hambridge, C., Carter, J., and Kaplinger, T. (2016). Ibm bluemix mobile cloud services. *IBM Journal of Research and Development*, 60(2-3):7–1.
- Hussein, A. I. (2015). Wearable computing: Challenges of implementation and its future. In *12th Learning and Technology Conference, 2015. 35752 2015.*, pages 14–19. IEEE.
- Iyengar, S. (2009). Framework for body sensor networks. Master’s thesis, EECS Department, University of California, Berkeley.

17º WIM - Workshop de Informática Médica

Apresentação

O Workshop de Informática Médica (WIM) é o evento científico anual da Comissão Especial de Computação Aplicada à Saúde (CE-CAS) da Sociedade Brasileira de Computação, que tem como objetivo reunir pesquisadores, estudantes, professores, profissionais e empresários interessados em aplicações da Computação na área de Saúde.

As atividades no WIM compreendem a apresentação de artigos resultantes de pesquisas da área, apresentação de trabalhos em andamento, além de palestras convidadas e mesas de debate sobre temas e desafios atuais.

Em sua 17ª edição, o WIM'2017 registrou a submissão de 99 artigos, dos quais 61 trabalhos completos e 38 trabalhos em andamento. Foram aceitos 23 trabalhos completos, com uma taxa de aceitação de 37,7%, e 15 trabalhos em andamento, com taxa de aceitação de 39,5%.

Os artigos abordam pesquisas originais e aplicações inovadoras nas áreas de Computação e de Sistemas de Informação aplicadas à Saúde, destacando-se os seguintes tópicos: telessaúde, uso de mídias sociais aplicadas à saúde, gestão de informação em saúde, segurança em sistemas de informação em saúde, sistemas de informação em saúde, sistemas de apoio à decisão, realidade aumentada e realidade virtual aplicadas à saúde humana, biologia computacional no contexto da saúde, reconhecimento de padrões, processamento e análise de sinais biológicos, processamento e análise de imagens médicas, visualização de dados biomédicos, modelos de diagnóstico, prognóstico ou propagação de doenças, redes de sensores e sistemas pervasivos em saúde, redes corporais sem fio (Wireless Body Area Networks), Internet das Coisas para saúde, web semântica e ontologias, acessibilidade e tecnologia web aplicadas à saúde humana e jogos sérios em saúde.

Lucas Ferrari de Oliveira (Coordenador Geral do WIM 2017), Paulo Eduardo Ambrósio (Coordenador do Comitê de Programa do WIM 2017)

Comitê Organizador

Coordenação Geral

Lucas Ferrari de Oliveira (UFPR)

Coordenação do Comitê de Programa

Paulo Eduardo Ambrósio (UESC)

Coordenação Local

Valéria Farinazzo Martins (Universidade Presbiteriana Mackenzie)

Comissão Especial de Computação Aplicada à Saúde (CE-CAS)

Marcia Ito (IBM Research Brazil - Coordenadora), Sergio Miranda Freire (UERJ - Vice-coordenador), Alessandra Alaniz Macedo (FFCLRP/USP), Débora Christina Muchaluat Saade (UFF), Denise Guliato (UFU), Marco Antonio Gutierrez (INCOR/USP), Lucas Ferrari de Oliveira (UFPR)

Comitê de Programa

Alécio Binotto (IBM Research), Alessandra Macedo (FFCLRP/USP), Alexandre Sztajnberg (UERJ), André Backes (UFU), Ana Claudia Martinez (UFU), Aristófanos Silva (UFMA), Arlindo da Conceição (ICT-UNIFESP), Artur Ziviani (LNCC), Carine Webber (UCS), Carolina Sacramento (UFF), Celso Alberto Saibel Santos (UFES), Cleber Correa (USP), Cristine Gusmão (UFPE), Daniel Cotrim (FTEC), Daniel Weingaertner (UFPR), Daniela Costa (UFMA), Daniela Trevisan (UFF), David Menotti (UFOP), Débora Christina Muchaluat-Saade (UFF), Deborah Carvalho (PUC-PR), Eduardo Albuquerque (UFG), Eduardo Palmeira (UESC), Eduardo Todt (UFPR), Flávio Silva (UFU), Gilson Giraldo (LNCC), Guilherme Alves (UFU), Gustavo Motta (UFPB), Hélio Guardia (UFSCar), Humberto Razente (UFU), Iara Augustin (UFSM), Ildeberto Rodello (FEARP/USP), Iwens Sene Jr. (UFG), João Manuel Tavares (Univ. do Porto), Jose Denes Araujo (UFMA), Jose Remo Brega (UNESP), Leandro Oliveira (UFG), Leandro Silva (UFAL), Leard Oliveira (UESC), Leila Bergamasco (USP), Leila Silva (UFAL), Leonardo Nardi (UFF), Leonardo Silva (UFMS), Lucas Ferrari de Oliveira (UFPR), Lucas Figueira (FATEC), Luciano Silva (UFPR), Luciano Romero Soares de Lima (Rede Sarah), Luiz Eduardo Silva (USP), Marcelo Honda (UESC), Marcelo Lobosco (UFJF), Marcelo Oliveira (UFAL), Marco Gubitoso (USP), Marcos Barreto (UFBA), Marcos Menuchi (UESC), Marcos Ribeiro (IFMG), Maria Camila Nardini Barioni (UFU), Maria Luiza Campos (UFRJ), Mariana Recamonde Mendoza (UFRGS), Mario Dantas (UFSC), Marly Guimarães Costa (UFAM), Mauricio Cunha Escarpinati (UFU), Márcia Ito (IBM Research – Brazil), Nadia Silva (UFG), Paulo de Azevedo-Marques (USP), Paulo Ambrósio (UESC), Paulo Rodrigues (FEI), Rafael Pasquini (UFU), Renan Aranha (USP), Renato Bulcão Neto (UFG), Rodrigo Faccioli (Barão de Mauá), Rodrigo Veras (UFPI), Romero Tori (Senac/USP), Rosa Maria Costa (UERJ), Sívio Cazella (Unisinos), Selan dos Santos (UFRN), Sergio Freire (UERJ),

Vera Werneck (UERJ), Vinicius Tragante do Ó (University Medical Center Utrecht),
Vivian Motti (George Mason University), Wanderley Lopes de Souza (UFSCar),
Wellington dos Santos (UFPE)

Palestras

Análise de Imagens Multimodalidades em Cardiologia

Prof. Dr. Marco Antonio Gutierrez (InCor/USP)

A análise de imagens multimodalidades, obtidas a partir de técnicas não invasivas como Ultrassom (US) Medicina Nuclear (SPECT ou PET), Tomografia (CT), Ressonância Magnética (RMN) e Tomografia por Coerência Óptica (TCO), possibilita, através da combinação de dados sobre anatomia, morfologia e função, maior precisão no diagnóstico e consequente melhor resposta das intervenções cardiovasculares. Durante a última década, avanços no desenvolvimento de software e hardware dos sistemas de aquisição, transmissão, armazenamento e visualização de imagens médicas (PACS) têm possibilitado o co-registro de imagens em várias modalidades, resultando em imagens “híbridas” ou fusão de imagens. Nesta palestra, serão discutidos os aspectos tecnológicos envolvendo imagens híbridas em Cardiologia, como a fusão de SPECT ou PET com CT em angiografia coronária, possibilitando informações morfológicas e funcionais em um único procedimento, o co-registro de PET com RMN para identificação da composição e estabilidade de placas em grandes vasos e fusão de imagens em US e TCO intravasculares para análise e classificação de estruturas vasculares.

Trabalhos aceitos

Análise temporal de uma rede de contato hospitalar utilizando técnicas de visualização de informação

Cláudio D. G. Linhares, Jean R. Ponciano, Luis. E. C. Rocha, José Gustavo de S. Paiva, Bruno A. N. Travençolo

Aprendizado Profundo para a classificação de blocos de tecidos pulmonares em imagens de Tomografia Computadorizada de Alta Resolução

Aline Dartora, Lucas Ferrari de Oliveira

Análise automatizada de exames de urina utilizando imagens digitais de dipsticks

Rafaela Barbirato Ferreira, Lucas Ferrari de Oliveira

Avaliação de Atributos de Textura de Núcleos Neoplásicos para a Classificação de Imagens Histológicas de Linfoma

Thaína A. A. Tosta, Paulo R. de Faria, Leandro A. Neves, Marcelo Z. do Nascimento

Investigando a Influência da Distribuição Espacial de Mosquitos na Propagação de Doenças via Autômato Celular

Julio Cesar de Azevedo Dias, Luiz Henrique Alves Monteiro

Performance Evaluation of the Tree Augmented Naïve Bayes Classifier for Knowledge Discovery in Healthcare Databases

Mário W. L. Moreira, Joel J. P. C. Rodrigues, Antonio M. B. Oliveira, Kashif Saleem, Augusto J. Venancio Neto

Reconhecimento Computadorizado de Padrões Inflamatórios de Sacroiliíte em Imagens de Ressonância Magnética

Matheus Calil Faleiros, José Raniery Ferreira Junior, Eddy Javala Jens, Vitor Faeda Dalto, Marcello Henrique Nogueira-Barbosa, Paulo Mazzoncini de Azevedo-Marques

Body Tracking MDV: sistema aplicado para fisioterapia com uso de tecnologias de controle por gestos

Marcos D. Vendramini, Paulo Augusto Nardi, Alexandre R. Paschoal

Análise no Desempenho de Algoritmos de Aprendizagem Supervisionada na Classificação da Marcha em Parkinsonianos

Hugo A. Souza, Marcelo Costa Oliveira, Leonardo Melo de Medeiros

Avaliação automática de versões oculares em imagens

Jullyana Fialho Pinheiro, João Dallyson Sousa de Almeida, Jorge Antonio Meireles Teixeira, Geraldo Braz Junior

Diagnóstico de Glaucoma em Imagens de Fundo de Olho utilizando os Índices de Diversidade de Shannon e McIntosh

José Denes L. Araújo, Anselmo C. de Paiva, João D. S. de Almeida, Otilio Paulo. S. Neto, Jefferson A. de Sousa, Aristófanés C. Silva, Geraldo Braz Junior

Uma nova abordagem para a segmentação de pulmões utilizando o método de contorno ativo não paramétrico Optimum Path Snakes em imagens de tomografia computadorizada

Aldísio G. Medeiros, Solon A. Peixoto, Antonio Carlos S. Barros, Victor Hugo C. de Albuquerque, Pedro P. Rebouças Filho

FisioDRUM: Serious Game em desenvolvimento

Gustavo Rodrigues F. Gonçalves, Eduardo M. S. de Brito, Thaise S. G. de Brito

On the Use of Fully Convolutional Networks on Evaluation of Infrared Breast Image Segmentations

Rafael H. C. de Melo, Aura Conci, Cristina Nader Vasconcelos

Análise de Técnicas Computacionais Usadas na Segmentação de Nódulos Pulmonares

Jorge Paulo Soares Rocha Filho, Paulo Eduardo Ambrósio

Diferenciação de padrões de benignidade e malignidade em tecidos da mama baseado na diversidade taxonômica

Edson Damasceno Carvalho, Antônio Oseas de C. Filho, Alcilene D. de Sousa, Patricia Vieira da S. Barros, Patrícia Medyna L. de L. Drumond

Zika Gamification: Mobile Application for Endemic Disease Control Agents Training

Mateus O. Fonseca, Gilson P. dos Santos Júnior, Lauro B. Fontes, Thiers Garretti R. Sousa

Avaliação da conformidade do e-SUS AB PEC segundo a certificação da SBIS/CFM

Rodrigo Barbalho, Lucas Postal, Raul Sidnei Wazlawick

Desenvolvimento de descritores baseado em análise de forma para diagnóstico de lesões pulmonares

Antonino Calisto dos S. Neto, Alexandre Ribeiro C. Ramos, Antonio Oséas de C. Filho, Alcilene D. de Sousa, Patricia Medyna L. de L. Drumond

Segmentação Semi-Automática de Úlceras para Terapia Larval

Vítor de G. Marques, Bruno Motta de Carvalho, Bruno Santana da Silva, Julianny Barreto Ferraz, Renata Antonaci Gama

Desenvolvimento de métodos para detecção automática do glaucoma

Antônio Sousa Vieira de Carvalho Júnior, Antônio Oseas de Carvalho Filho, Alcilene de Sousa, Patricia Medyna Lauritzen de Lucena Drumond, Patricia da Silva Barros

Simulação de Aplicação de Armadilhas no Combate ao Aedes aegypti

Alessandro M. Baldi, Eduardo Zambon, Patrícia D. Costa, Eduarda M. S. Montiel

Segmentação de Dentes em Imagens Radiográficas Periapicais utilizando uma adaptação do Método do Gradiente

Artur A. Silva, Aristofanes C. Silva, Anselmo C. de Paiva, Raisal Sales de Sá, Melaine Lawall, Erika M. Pereira, Laise Nascimento Correa Lima

Estimating capacity and resource allocation in healthcare settings using business process modelling and simulation

G. A. Redeker, T. Webber, R. M. Czekster, S. Quickert, J. K. F. Bowles

BodyRating: Uma proposta para anotação de silhueta corporal para avaliação de autopercepção

Anderson S. Fonseca, Victor H. B. de Lemos, Artur A. Silva, Geraldo Braz Júnior, Anselmo C. Paiva, Antônio A. M. da Silva

Planejamento Cirúrgico de Estrabismo Horizontal Utilizando Regressores de Múltiplas Saídas

Thalles Alencar Silva, João Dallyson Sousa de Almeida, Jorge Antonio Meireles Teixeira, Geraldo Braz Junior

Desenvolvimento e validação de um protótipo para a coleta de sinais vitais

Jorge Arthur Schneider Aranda, Marta Rosecler Bez, Juliano Varella de Carvalho

Ferramenta para Extração de Múltiplas Características em Exames Médicos por Imagem

Adriana N. Reis, Rodrigo F. Rönnau, Nicolas Pohren, Jonata Becker, Anderson R. Spaniol, Marta R. Bez, Rodrigo R. V. Goulart

Uma Abordagem de Classificação de Imagens Dermatoscópicas Utilizando Aprendizado Profundo com Redes Neurais Convolucionais

Alan Santos, Kelson Aires, Rodrigo Veras, Valeska Uchoa, Luís Santos

Um Sistema de Diagnóstico de Leucemia utilizando CNN's Pré-treinadas e um Comitê de Classificadores

Luis H. S. Vogado, Rodrigo M. S. Veras, Alan R. Andrade, Luís G. T. Santos, Kelson R. T. Aires, Vinicius P. Machado

NutriMob Kids - Um Aplicativo Para Avaliação, Prescrição e Monitoramento da Terapia Nutricional Enteral Domiciliar em Pediatria

Daniel A. Callegari, Raquel da Luz Dias, Ana M. P. Feoli, Murilo de O. Araújo, Laura Hofmeister

Proposta de um Descritor Híbrido para Aprimoramento da Identificação Automática de Melanoma

Nayara Moura, Rodrigo Veras, Kelson Aires, Luís Santos, Vinicius Machado

Caracterização de Atendimentos em uma Rede de Atenção à Saúde

Leonardo de O. Jasmim, Artur Ziviani, Marcia Ito, Paulo B. Paiva

Recuperação de Nódulos Pulmonares por Conteúdo: uma abordagem Radiomics em Pesquisa Reprodutível

Marcelo Costa Oliveira, David Jones Ferreira de Lucena, Ailton Felix

Mineração de tópicos e aspectos em microblogs sobre Dengue, Chikungunya, Zika e Microcefalia

Mateus Tarcinalli Machado, Jessica Caroline Alves Nunes Temporal, Thiago Alexandre Salgueiro Pardo, Evandro Eduardo Seron Ruiz

Correlacionando genes e doenças através de caminhos metabólicos

Carla Fernandes da Silva, Kuruvilla Joseph Abraham, Evandro Eduardo Seron Ruiz

Realidade Aumentada Aplicada ao Processo de Reabilitação Física de Membro Superior

Jone Follmann, Gabriel Brinhol, Patrick Tarouco, Julio Saraçol, Érico Amaral

Concepção de uma Arquitetura Móvel para Identificação de Anomalias Cardíacas

Rodrigo Leal, Cidrônio Oliveira, Ismael Pereira, Francisco Airton Silva

Análise temporal de uma rede de contato hospitalar utilizando técnicas de visualização de informação

Cláudio D. G. Linhares¹, Jean R. Ponciano¹, Luis. E. C. Rocha²,
José Gustavo de S. Paiva¹, Bruno A. N. Travencolo¹

¹Faculdade de Computação – Universidade Federal de Uberlândia (UFU)
Uberlândia – MG – Brasil

²Departamento de Ciências da Saúde Pública – Instituto Karolinska, Suécia

{claudiog1, jeanrobertop}@gmail.com, luis.rocha@ki.se

gustavo@ufu.br, travencolo@gmail.com

Abstract. *The visualization of temporal networks, i.e., the visualization of networks that represent interactions between a domain's instances and that have information about when such interactions occur, plays a key role in the recognition of properties that would be difficult to perceive without an adequate visualization strategy. This paper presents an application case study of a visual analysis system in a hospital contact network between people. The goal is to demonstrate the applicability of this system in helping on decision making processes related to health data. The achieved results facilitate both the network analysis and the patterns perception, accelerating and making the decision making processes more reliable.*

Resumo. *A visualização de redes temporais, isto é, a visualização de redes que representam interações entre as instâncias de um domínio e que possuem informações sobre quando essas interações ocorreram, exerce um papel relevante na identificação de propriedades que seriam de difícil percepção sem uma adequada estratégia de visualização. Este trabalho apresenta um estudo de caso de aplicação de um sistema de análise visual em uma rede de contato hospitalar. O objetivo é demonstrar a aplicabilidade dessa ferramenta no auxílio a tomadas de decisão em relação a dados da área da saúde. Os resultados alcançados demonstram a facilidade da análise da rede e a percepção de padrões, agilizando e deixando as tomadas de decisão mais confiáveis.*

1. Introdução

Nos últimos anos, vários pesquisadores têm aplicado seus esforços na representação e análise de relacionamentos entre elementos em diferentes campos de estudo, como medicina, biologia, sociologia, computação e outros. A estrutura mais adotada para esse tipo de aplicação é uma rede definida por um conjunto de nós (representando as instâncias do domínio) com arestas conectando-os de acordo com algum critério de análise (por exemplo, comunicação, similaridade ou interação social) [Estrada 2015]. Nesse contexto, uma célula pode ser vista como uma rede composta por seus componentes (nós) ligados por reações químicas (arestas) [Albert and Barabási 2002].

Em diversas situações, no entanto, apenas conhecer as instâncias e saber das ocorrências de conexões entre elas pode não ser suficiente para representar e analisar as relações existentes na rede. Nesses casos, conhecer também os instantes de tempo em que tais interações ocorreram torna-se essencial para uma análise mais precisa. Por exemplo, no campo de estudo da epidemiologia pode-se usar uma estrutura de rede em que cada **nó** representa uma pessoa, as **arestas** conectam as pessoas (i.e., os nós) que possuem algum tipo de relação (por exemplo, de proximidade física) e os **instantes de tempo** indicam quando as interações entre as pessoas ocorreram (por exemplo, um aperto de mão ou uma conversa próxima). Uma rede que dispõe dessas três informações recebe diferentes nomes na literatura, como redes dinâmicas, redes temporais (nome adotado neste trabalho) e outros [Holme and Saramäki 2012].

A análise manual das redes temporais pode dificultar a detecção de alguns padrões, tendências, anomalias e outros fenômenos devido à quantidade de informações. O estudo da visualização da informação busca facilitar a análise por meio de abordagens computacionais que sejam gráficas e interativas. Assim, estratégias adequadas de visualização de redes temporais são importantes para o correto entendimento das interações entre os nós e da evolução da rede ao longo do tempo. Apesar de ser uma área de estudo em expansão, a exploração visual de redes temporais ainda é um problema não-resolvido e que necessita de abordagens efetivas [Linhares et al. 2017].

Este artigo apresenta um estudo de caso de análise visual de uma rede de contatos hospitalar utilizando o sistema computacional **DyNetVis** [Linhares et al. 2017]. Esse sistema apresenta diversos *layouts* que organizam as informações da rede em estruturas visuais, de forma a ressaltar padrões que representem fenômenos associados. Além disso, oferece diversas ferramentas interativas que auxiliam na exploração de padrões visuais em redes temporais. Por meio desse estudo de caso, pretende-se demonstrar a aplicabilidade do sistema e de seus métodos na análise de redes com dados da área da saúde, incluindo dados para gestão de unidades hospitalares e equipes médicas, dentre outros.

O restante deste artigo está dividido como se segue. A Seção 2 apresenta estratégias de visualização de redes temporais. A Seção 3 apresenta a ferramenta computacional DyNetVis. A Seção 4 descreve em detalhes o estudo de caso realizado. Por fim, a Seção 5 traz as conclusões e perspectivas de trabalhos futuros.

2. Visualização de Redes Temporais

A visualização de redes temporais permite a análise de padrões, tendências, anomalias e outros tipos de comportamentos existentes em dados reais que possuem informação temporal. A Figura 1 ilustra três formas de visualização para uma mesma rede temporal fictícia. A primeira forma, apresentada na Figura 1(a), representa os dados em forma tabular. Nesse tipo de visualização, a percepção de padrões é dificultada, em especial quando ela possui um grande volume de informações, visto que toda a rede é representada textualmente. Esse mesmo conjunto tabular de dados pode ser representado em uma estrutura clássica de grafos, conforme mostrado na Figura 1(b). Neste trabalho, esse tipo de visualização é chamado de *visão estrutural* da rede. Apesar de facilitar a análise global dos dados, essa abordagem dificulta a análise temporal da rede, pois não exhibe os momentos em que as interações entre as instâncias ocorreram. Nesse contexto, surge a estratégia chamada de *visão temporal* (Figura 1(c)), que destaca os instantes de tempo, facilitando

a percepção da evolução da rede. Essa característica torna a visualização temporal útil para análises epidemiológicas, além de ser também adequada em outros contextos. Tanto a visão estrutural quanto a temporal, apresentadas na Figura 1, são descritas em detalhes nas próximas seções.

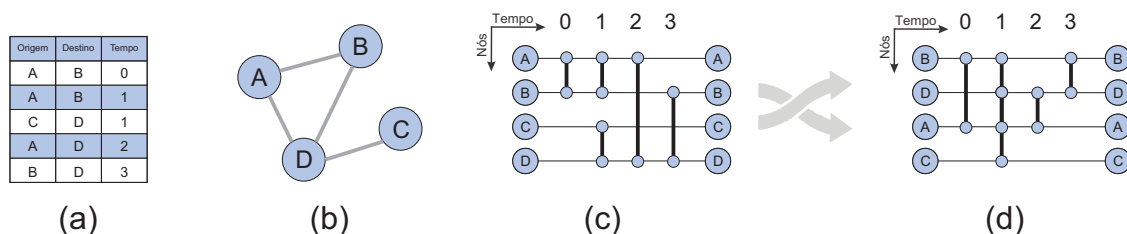


Figura 1. Tipos de visões dos dados: (a) representa os dados em forma de tabela; (b) representa a visão estrutural dos dados; em (c) os dados são exibidos na visão temporal. Nesse tipo de visão, a ordem em que os nós são dispostos no eixo vertical impacta diretamente no resultado da visualização da rede; (d) apresenta um novo *layout* temporal gerado pela reordenação da sequência de nós exibida em (c).

2.1. Visão Estrutural

A visão estrutural é descrita como a forma convencional de um grafo com instâncias (representadas por nós) dispostas espacialmente com conexões (arestas) ligando-as. Desse modo, um grupo de pessoas interagindo pode ser representado por uma visão estrutural se considerarmos que cada nó representa uma pessoa e que as arestas ligam duas pessoas que interagiram entre si. Esse tipo de visão é mais adequada para analisar a rede como um todo, facilitando a percepção de padrões globais que independem dos instantes de tempo em que as conexões ocorreram. É possível visualizar, por exemplo, quais nós apresentam grande número de conexões e quais pares de nós possuem mais conexões entre si.

2.2. Visão Temporal

A visão temporal baseia-se em um *layout* que utiliza o eixo das abscissas para representar o tempo e o eixo das ordenadas para representar os nós da rede. Nessa visão, as arestas indicando as conexões são retas verticais ligando dois nós em determinados instantes de tempo, como visto na Figura 1(c). Devido a essa característica, ela permite analisar a rede de acordo com sua evolução ao longo do tempo [Holme and Saramäki 2012]. Esse tipo de visão é a base para o entendimento deste trabalho.

A posição dos nós na visão temporal tem muita influência na visualização gerada e, conseqüentemente, na percepção dos padrões da rede. As Figuras 1(c) e 1(d) ilustram dois exemplos em que um mesmo conjunto de dados gera duas visões temporais diferentes devido à alteração da ordem dos nós. Isso ocorre pois quanto mais distantes dois nós estão, maior a aresta que representará a conexão entre eles. Arestas grandes são prejudiciais na medida em que causam sobreposição em outras, possivelmente ocultando comportamentos relevantes na análise dos dados. Nesse sentido, é importante organizar os nós em uma sequência que deixe o *layout* menos denso, facilitando a análise. Em [van den Elzen et al. 2013] são apresentados vários métodos de reordenação de nós. Três métodos da literatura são descritos a seguir [van den Elzen et al. 2013, Linhares et al. 2017]:

1. **Nascimento:** Nesta ordenação, os nós são inseridos na ordem em que se conectam a algum outro nó pela primeira vez, ou seja, quando “nascem”. Dessa forma, os nós que aparecem nos primeiros instantes de tempo serão posicionados na parte superior do *layout* e os últimos nós que surgirem serão posicionados na porção inferior.
2. **Lexicográfico:** Nesta ordenação, os nós são inseridos em ordem crescente de rótulo, o qual varia de acordo com o domínio do problema. Se os nós são rotulados com números, a ordenação é numérica crescente; se forem letras ou palavras, a ordem será alfabética.
3. **Vizinhos Recorrentes:** Esta ordenação, proposta em [Linhares et al. 2017], centraliza e aproxima os nós que mais se conectam entre si, ou seja, os nós que são vizinhos (adjacentes) na rede. No primeiro passo do algoritmo, o nó com mais conexões é inserido no centro do *layout*. Ao redor dele são colocados então os nós que mais se conectam a ele. O processo continua recursivamente tentando aproximar espacialmente os nós que mais se conectam entre si.

Outra estratégia de visualização temporal, ideal para identificar o nível de intensidade das atividades dos nós em instantes de tempo específicos, além de outros padrões globais, é conhecida como **Mapa de Atividade Temporal** (TAM – *Temporal Activity Map*) [Linhares et al. 2017]. Trata-se de uma técnica que oculta as arestas e dá destaque para a exibição dos nós, associando, para cada nó e em cada instante de tempo, uma cor baseada em uma escala de cores que visa refletir o nível de interações do nó naquele instante. Com essa estratégia, consegue-se detectar, por exemplo, em quais momentos há gargalos e horários de pico, informações relevantes para suportar decisões gerenciais.

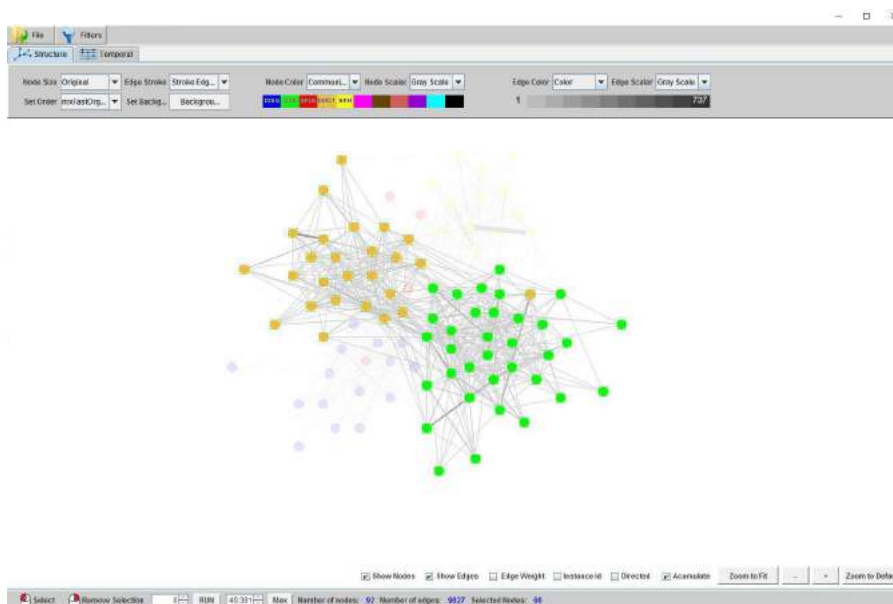
3. DyNetVis

O Sistema DyNetVis (*Dynamic Network Visualization*) [Linhares et al. 2017] exhibe as informações da rede utilizando as estratégias visuais apresentadas anteriormente. Ele também oferece diversas ferramentas para auxiliar a análise visual e o reconhecimento de padrões visuais, como seleção coordenada entre visões, *zoom-in* e *zoom-out*, personalização de cores e tamanhos de nós e arestas e ainda apresenta diversas opções de disposição de nós tanto estruturalmente quanto temporalmente.

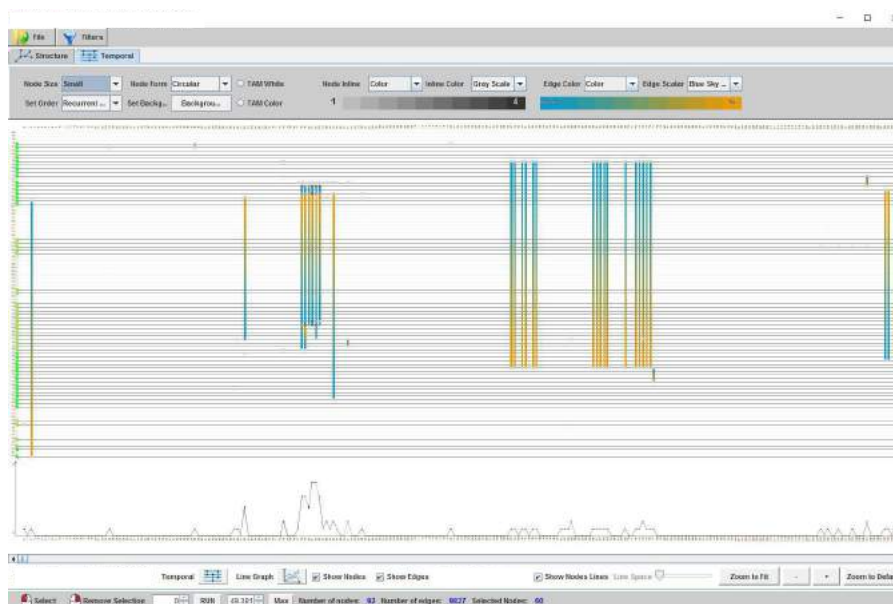
O sistema subdivide suas funcionalidades em duas telas principais, contendo as visões estrutural (Figura 2(a)) e temporal (Figura 2(b)). Dentre as funcionalidades oferecidas na visão estrutural, destacam-se a seleção de nós, adequada para análises de instâncias específicas da rede, e a possibilidade de modificação de propriedades dos nós e arestas. A análise da visão estrutural pode ser prejudicada se a rede possuir muitos nós devido à potencial sobreposição deles. Por esta razão, o DyNetVis permite livre reorganização espacial dos nós pelo usuário, manualmente ou por meio de técnicas como algoritmos de força [Zhang et al. 2005], circular [Baur and Brandes 2005] e hierárquico [Bastert and Matuszewski 2001].

Na visão temporal tem-se novamente a possibilidade de modificação de propriedades dos nós e arestas, bem como as opções de alterar a ordenação dos nós, permitindo que o usuário escolha e altere sempre que julgar conveniente, uma das ordenações disponíveis (apresentadas na Seção 2.2). Há ainda, nesse *layout*, a possibilidade de aplicar a visualização TAM, ideal para análise do nível de atividade dos indivíduos ao longo do

tempo. Algumas funcionalidades são coordenadas em ambas as visões, como a seleção de nós, tendo assim uma percepção do comportamento dos mesmos nós em duas visões diferentes. Essa situação é apresentada na Figura 2, em que ambas as telas do sistema destacam um conjunto de nós selecionado.



(a) Visão Estrutural



(b) Visão Temporal

Figura 2. As duas principais telas do sistema DyNetVis para exploração estrutural e temporal das informações da rede. (a) Visão estrutural. (b) Visão Temporal. Os nós destacados em (a) também são destacados em (b), ilustrando a coordenação na seleção de nós.

4. Estudo de Caso

Esta seção apresenta um estudo de caso elaborado utilizando uma rede de contatos entre pessoas (também conhecida como rede de proximidade) com informações provenientes de um hospital. O objetivo deste estudo é demonstrar a aplicabilidade do sistema DyNetVis, aliado ao método de reordenação de nós *Vizinhos Recorrentes*, na análise de tendências, periodicidades, anomalias e outros padrões existentes em redes temporais.

4.1. Rede de contato - Hospital

Todas as informações constantes na rede foram coletadas por meio de sensores RFID. Quando ocorre o contato por aproximação frontal entre duas pessoas distanciadas entre si de 1 até 1,5 metros, o contato é registrado. Dois indivíduos fazem contato se houver pelo menos uma troca de informações entre seus dispositivos RFID em um intervalo de 20 segundos. De igual forma, considera-se que o contato é interrompido quando não há troca de informações nesse intervalo [Cattuto et al. 2010, Vanhems et al. 2013].

Os dados da rede Hospital [Vanhems et al. 2013] foram coletados em uma unidade geriátrica de um hospital universitário com quase 1000 leitos existente em Lyon - França. Os dados colhidos são relativos a cinco dias consecutivos, começando às 13 horas do dia 06 de dezembro de 2010 (segunda-feira) e encerrando-se às 14 horas do dia 10 de dezembro do mesmo ano (sexta-feira). Os dados são relativos a 46 funcionários (92% de participação) e 29 pacientes (94% de participação). Dos 46 funcionários, 11 são médicos (perfil MED), 27 são enfermeiros ou auxiliares de enfermagem (perfil ENF) e 8 são funcionários administrativos (perfil ADM). Ao grupo de pacientes foi associado o perfil PAC. Os participantes foram monitorados durante todo o tempo em que permaneceram no hospital. Os visitantes não foram considerados na coleta dos dados. No total, a rede conta com 75 indivíduos (nós) e 32.424 contatos (conexões) distribuídos nos cinco dias.

4.2. Análise Visual

A fim de tornar o reconhecimento de padrões visuais tão fácil quanto possível nos experimentos a seguir, duas decisões de *layout* foram adotadas. Inicialmente, baseado no princípio da similaridade de Gestalt [Ware 2013], que afirma que a visão humana tende a agrupar objetos similares, foram associadas cores diferentes para os nós de perfis diferentes na rede. Essa associação é visível tanto na visão estrutural quanto na temporal e facilita a identificação dos perfis, agilizando o reconhecimento de comportamentos e tomadas de decisão. A segunda decisão de *layout* diz respeito às cores das arestas na visão temporal: é associada às arestas uma escala de cores que varia de azul até laranja, representando a origem e o destino da conexão, respectivamente. A importância dessa decisão surge em situações nas quais o sentido do contato é importante para análise, como, por exemplo, em situações epidemiológicas, em que é importante saber quem infectou quem com determinada doença.

A Figura 3 apresenta o *layout* estrutural gerado pelo DyNetVis para a rede do Hospital. Os nós estão separados por um algoritmo baseado em força, que posiciona os nós com mais conexões na região central do grafo e os nós com poucas conexões na região periférica dele. Assim, é possível ver, por exemplo, que os pacientes possuem, no geral, pouco contato tanto com membros de outros perfis quanto entre si - o

que é justificável pelo fato de a maioria dos quartos (todos, exceto dois) serem individuais [Vanhems et al. 2013]. Por outro lado, os enfermeiros e assistentes de enfermagem estão majoritariamente dispostos no centro da rede, indicando alto grau de conectividade desses profissionais. A visão estrutural não permite visualizar quando os contatos entre os indivíduos ocorreram. Por essa razão, é importante também uma análise temporal da rede.

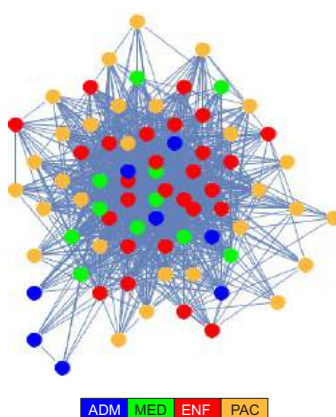


Figura 3. Visão estrutural da rede Hospital, com nós coloridos de acordo com o perfil de cada participante da rede (MED - médicos, ENF - enfermeiros ou auxiliares, ADM - funcionários administrativos, PAC - pacientes). A disposição dos nós no *layout* foi feita por um algoritmo baseado em força, o qual mantém os nós com mais conexões no centro do grafo. É possível ver que os nós que representam os pacientes encontram-se na região periférica da rede, o que indica pouco contato envolvendo os membros desse perfil.

Na visão temporal, a ocorrência de arestas muito grandes no *layout* tende a prejudicar a percepção de padrões, já que elas podem deixar o *layout* muito denso, ocultando regiões importantes devido a sobreposições de arestas e levando o usuário a uma possível tomada de decisão equivocada. Desse modo, é extremamente importante que o *layout* exiba nós com muitas conexões entre si próximos uns dos outros, a fim de reduzir o tamanho das arestas entre eles e tornando o *layout* tão limpo quanto possível.

Com o objetivo de analisar a qualidade do *layout* temporal proporcionado por diferentes técnicas de reordenação de nós, a Figura 4 apresenta um comparativo das estratégias de ordenação de nós (1) *Nascimento*, (2) *Lexicográfico*, e (3) *Vizinhos Recorrentes*. É possível notar que o *layout* proporcionado pelo último método é, de modo geral, mais limpo e portanto mais adequado para a análise da rede. Dessa forma, os experimentos seguintes foram realizados utilizando apenas a técnica *Vizinhos Recorrentes* e são válidos para demonstrar a relação existente entre nós posicionados próximos pelo método. A Figura 4 também permite visualizar o comportamento geral da rede nos períodos diurno e noturno. Com exceção da segunda noite, todas as outras apresentam atividade, ainda que pouca. Isso é esperado, já que a rede representa um hospital e, portanto, possui enfermeiros e pacientes também no período noturno.

A Figura 5 apresenta as interações envolvendo um paciente (nó 1383), um médico (nó 1157) e um enfermeiro (nó 1114) ao longo dos três primeiros dias na rede. Os nós na cor cinza indicam que aquele indivíduo está ativo naquele instante de tempo, ou seja, ele apresenta conexões na rede, porém não com os nós que estão destacados no *layout*. Por

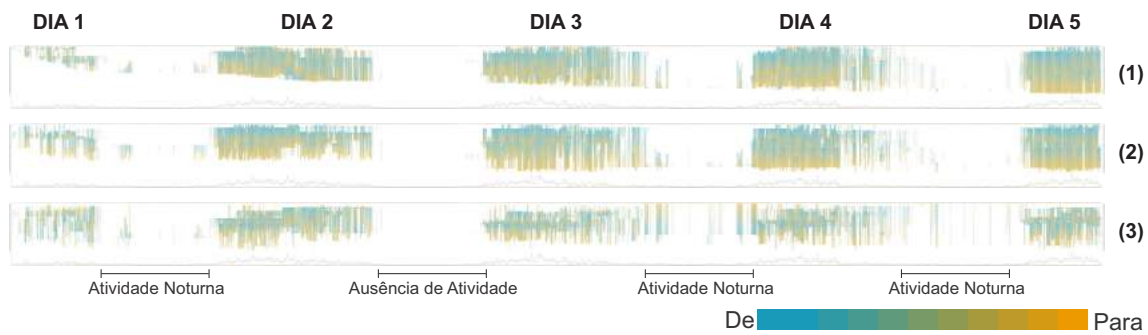


Figura 4. Comparativo entre as visões temporais obtidas por três métodos de ordenação de nós considerando os cinco dias da rede. Visualizações obtidas utilizando os métodos (1) Nascimento; (2) Lexicográfico; (3) Vizinhos Recorrentes. Cada instante de tempo nos layouts refere-se a um intervalo de três minutos e considera todas as conexões que ocorreram nesse intervalo.

essa razão, esses nós aparecem mesmo quando não existem conexões com os demais nós analisados. No dia 1, apesar de os três indivíduos estarem presentes na rede, não houve interações entre eles, situação percebida pela ausência de arestas na visualização. No segundo dia, é possível visualizar várias interações entre os indivíduos, sendo a primeira delas referente ao contato entre o enfermeiro e o paciente (aresta entre os nós 1383 e 1114). Na sequência, o enfermeiro entrou em contato com o médico e retornou ao paciente, o que permite supor que o enfermeiro entrou em contato com o médico para tratar de assuntos relacionados ao estado de saúde deste paciente. É possível observar ainda que, algum tempo depois, o enfermeiro voltou a entrar em contato com o médico e novamente com o paciente (arestas no centro da Figura 5, dia 2). Imediatamente após essas novas interações, o médico entrou em contato com o paciente pela primeira vez, repetindo o contato duas vezes em um curto espaço de tempo nesse segundo dia e outras quatro vezes ao longo do terceiro dia. Em um cenário de propagação de alguma doença, a visualização temporal, por permitir que se conheça a sequência das conexões e os indivíduos envolvidos nelas, pode ser utilizada para rastrear a infecção e prever comportamentos, possibilitando assim que sejam adotadas medidas de contenção adequadas.

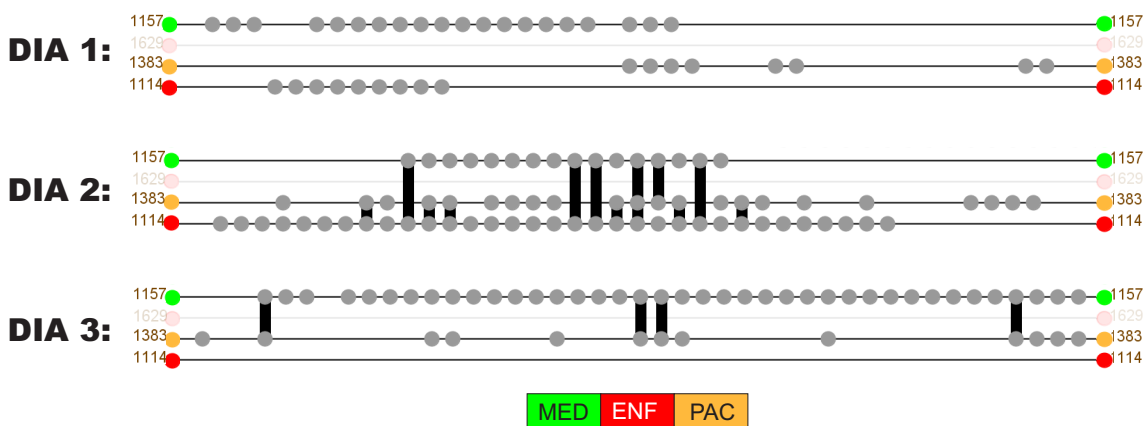


Figura 5. Visão temporal mostrando o relacionamento entre um médico, um enfermeiro e um paciente ao longo dos três primeiros dias da rede. Cada instante de tempo na imagem refere-se a um intervalo de quinze minutos e considera todas as conexões nesse intervalo como uma só.

A visualização temporal da rede utilizando o mapa de atividade temporal (TAM) facilita e torna mais rápida a percepção de determinados padrões globais. A Figura 6 ilustra um exemplo, aliando esse tipo de visualização com a seleção de nós, por meio do qual é possível perceber comportamentos e tomar decisões baseando-se neles. Analisando a imagem, percebe-se, por exemplo, que (1) há horário de expediente bem definido para o conjunto de médicos selecionado; (2) esse expediente é igual para todos os médicos, de modo que não há interações envolvendo esse perfil no período noturno, o que permite supor que não há plantonistas neste período; (3) em cada dia houve ausência de pelo menos um médico desse conjunto, isto é, não houve um dia sequer em que todos eles estivessem presentes. A mesma escala de cores adotada nas arestas da visão temporal foi aplicada no TAM de modo a refletir a intensidade de contatos que os profissionais tiveram ao longo dos dias (quanto mais alaranjado um bloco é, mais contatos aquele médico teve em determinado intervalo de tempo – meia hora, neste experimento). No contexto desta rede, essa informação pode ser utilizada para detectar gargalos e adequar a alocação da equipe médica em momentos de pico.



Figura 6. Visão geral combinando o uso do mapa de atividade temporal (TAM) com a seleção de nós a fim de detectar padrões globais envolvendo a equipe médica. Cada instante de tempo na imagem refere-se a um intervalo de trinta minutos e considera todas as conexões nesse intervalo como uma só.

5. Conclusão e Trabalhos Futuros

A ferramenta DyNetVis possibilita a análise de padrões visuais em redes temporais de qualquer natureza, sendo adequada, conforme demonstrado ao longo deste artigo, para análises de redes de dados da área da saúde. Foi apresentado um estudo de caso de uma rede hospitalar utilizando esse sistema, em especial o método de ordenação de nós *Vizinhos Recorrentes* e a estratégia de visualização TAM, ambos presentes na ferramenta. Como resultado, foram detectados diversos padrões visuais, alguns globais, como a detecção de baixa atividade no período noturno na rede e horário de trabalho dos médicos, além de padrões mais específicos, como a relação entre paciente, médico e enfermeiro discutida na Seção 4.2. Esses resultados possibilitam tomadas de decisão mais ágeis e confiáveis. Além disso, eles demonstram a possibilidade de aplicar a ferramenta e técnicas em cenários de detecção e propagação de doenças entre indivíduos da rede.

Como trabalhos futuros é possível incorporar técnicas para aplicação em cenários de detecção epidemiológica, bem como simulações de pessoas doentes e imunes na rede e o seu impacto geral nessa propagação. Além disso, pretende-se analisar outros cenários envolvendo saúde e incluir medidas estatísticas de redes, tais como centralidade e propriedades topológicas, para realçar outros padrões.

6. Agradecimentos

Este trabalho é apoiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq (processo 456855/2014-9); Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG (processos APQ-01345-13, REONCO-52-11).

Referências

- Albert, R. and Barabási, A.-L. (2002). Statistical mechanics of complex networks. *Rev. Mod. Phys.*, 74(1):47–97.
- Bastert, O. and Matuszewski, C. (2001). Layered drawings of digraphs. In Kaufmann, M. and Wagner, D., editors, *Drawing Graphs*, volume 2025 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 87–120. Springer Berlin Heidelberg.
- Baur, M. and Brandes, U. (2005). Crossing reduction in circular layouts. In Hromkovič, J., Nagl, M., and Westfechtel, B., editors, *Graph-Theoretic Concepts in Computer Science*, volume 3353 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 332–343. Springer Berlin Heidelberg.
- Cattuto, C., Van den Broeck, W., Barrat, A., Colizza, V., Pinton, J.-F., and Vespignani, A. (2010). Dynamics of person-to-person interactions from distributed rfid sensor networks. *PloS one*, 5(7):e11596.
- Estrada, E. (2015). *Introduction to Complex Networks: Structure and Dynamics*, pages 93–131. Springer International Publishing, Cham.
- Holme, P. and Saramäki, J. (2012). Temporal networks. *Physics Reports*, 519(3):97 – 125.
- Linhares, C. D. G., Travençolo, B. A. N., Paiva, J. G. S., and Rocha, L. E. C. (2017). Dynetvis: A system for visualization of dynamic networks. *Symposium on Applied Computing*, pages 187–194.
- van den Elzen, S., Holten, D., Blaas, J., and van Wijk, J. J. (2013). Reordering massive sequence views: Enabling temporal and structural analysis of dynamic networks. In *Visualization Symposium (PacificVis), 2013 IEEE Pacific*, pages 33–40. IEEE.
- Vanhems, P., Barrat, A., Cattuto, C., Pinton, J.-F., Khanafer, N., Régis, C., Kim, B.-a., Comte, B., and Voirin, N. (2013). Estimating potential infection transmission routes in hospital wards using wearable proximity sensors. *PLoS One*, 8:e73970.
- Ware, C. (2013). *Information Visualization: Perception for Design*, volume 3. Morgan Kaufmann Publishers Inc.
- Zhang, Q.-G., Liu, H.-Y., Zhang, W., and Guo, Y.-J. (2005). Drawing undirected graphs with genetic algorithms. In Wang, L., Chen, K., and Ong, Y., editors, *Advances in Natural Computation*, volume 3612 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 28–36. Springer Berlin Heidelberg.

Aprendizado Profundo para a classificação de blocos de tecidos pulmonares em imagens de Tomografia Computadorizada de Alta Resolução

Aline Dartora¹, Lucas Ferrari de Oliveira¹

¹Laboratório de Visão, Robótica e Imagem (VRI)
Programa de Pós-Graduação em Informática (PPGInf)
Universidade Federal do Paraná (UFPR)
Curitiba - PR, Brasil

dartoraline@gmail.com.br, lferrari@inf.ufpr.br

Resumo. Doenças pulmonares intersticiais (DPI) envolvem vários padrões de imagem anormais observados em exames de tomografia computadorizada de alta resolução. A caracterização automatizada de tecidos é um componente essencial de um sistema de auxílio ao diagnóstico por computador deste tipo de doença. As redes neurais convolucionais profundas aprendem características diretamente dos dados de treinamento em vez de extraí-los manualmente evitando a necessidade de otimização de extratores de características. Nesse contexto, o presente trabalho busca investigar um método de classificação utilizando aprendizado profundo para melhorar o desempenho de sistemas CAD no diagnóstico de DPIs. Resultados preliminares atingiram uma taxa de reconhecimento geral de 74,9% na classificação das cinco classes de DPIs em estudo.

Palavras-chave: Tomografia computadorizada de alta resolução (TCAR). Doença Pulmonar Intersticial (DPIs). Classificação de Tecido. Redes Neurais. Aprendizado profundo.

Abstract. Interstitial lung disease (ILD) involves several imaging patterns that are observed in high resolution computed tomography (HRCT). The automated tissue characterization is an essential component of a computer aided diagnostic (CAD) system for ILD research. Deep convolutional neural networks learns features directly from training data rather than extracting them manually, avoiding the need for feature extractor optimization. In this context, the present work investigate about a classification method using a deep learning program, in order to improve the performance of CAD systems for the diagnosis of ILDs. Preliminary results achieved a general recognition rate of 74.9 % in the classification of the five classes of ILD refered in this study.

Keywords: High-resolution computed tomography (HRCT). Interstitial Lung Diseases (ILDs). Tissue classification. Neural networks. Deep-learning.

1. Introdução

A classificação de padrões de tecidos pulmonares em imagens de tomografia computadorizada de alta resolução (TCAR) é significativa para a prática clínica, porém, é uma tarefa difícil quando envolve padrões anormais de doenças graves. A partir de uma

boa predição de tecidos pulmonares é possível utilizá-la como uma etapa do desenvolvimento de sistemas de auxílio ao diagnóstico (CAD) aumentando a precisão diagnóstica [A. Depeursinge 2011].

Recentemente, os trabalhos do estado da arte apresentam técnicas utilizando algoritmos para predizer os diferentes padrões radiológicos de forma automática em vez de aprendê-los manualmente [Gao and et al. 2015]. A partir de tais observações, o presente trabalho propõe explorar os métodos de classificação para a predição dos padrões radiológicos utilizando um modelo de arquitetura profunda conhecido como Rede Neural Convolutiva (CNN). As arquiteturas de CNNs são projetadas para reconhecer padrões diretamente a partir dos pixels das imagens, incorporando a extração de características e a classificação [Lecun et al. 2015].

2. Metodologia

3. Base de Imagens

A realização deste trabalho tem como referência uma base de imagens pública com casos de Doenças Pulmonares Difusas (DPDs) cedida por [A. Depeursinge 2011] que contém imagens de TCAR com uma espessura de corte de 1 mm. A base é composta por conjuntos de TCAR com casos de doenças pulmonares de 113 pacientes.

Uma segunda base de imagens extraída da base citada anteriormente e disponibilizada por [Bagesteiro 2015], foi utilizada neste trabalho. Essa base é composta por blocos de imagens com meia-sobreposição no eixo x e y de 32×32 pixels que contém pelo menos 75% dos pixels pertencente ao padrão da ROI. A base citada contém 20540 blocos de imagens de 90 pacientes que estão rotulados em 6 classes que são: não pulmão (NP), normal (N), enfisema (E), vidro-fosco (GG), fibrose (F) e micronódulos (M). No presente trabalho foi removida a classe não-pulmão (3.000 blocos) para que fosse possível a comparação dos resultados com a literatura existente.

4. Pré-Processamento

4.1. Produção de Dados sintéticos

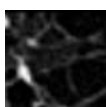
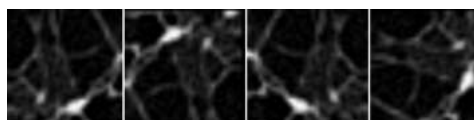
Inicialmente, todas as imagens em formato DICOM foram convertidas para o formato PNG de modo que as amostras fossem compatíveis com a entrada do classificador utilizado. No momento da conversão 688 imagens das classes normal, fibrose e micronódulos foram corrompidas, não sendo possível recuperá-las, o que resultou na redução do número de pacientes. A distribuição das classes por base de imagem é mostrada na Tabela 1. Para corrigir o desbalanceamento das classes nos blocos de imagens e também para suprir a necessidade de uma base de dados maior para o aprendizado da rede, foi necessário a criação de dados sintéticos. Para isso, foi utilizada a técnica de geração de dados sintéticos que consiste na ampliação, de forma artificial, do número de amostras originais [Krizhevsky et al. 2012].

A técnica consiste em aplicar filtros de transformações geométricas nas imagens [Krizhevsky et al. 2012]. Os filtros utilizados foram os de rotação (ângulos: 90° , 180° e 270°), espelhamento (horizontal e vertical) e a combinação deles. Justifica-se o uso destes filtros por eles não causarem alterações na textura das imagens devido ao problema estudado ser centrado na classificação de textura.

Tabela 1. Blocos de imagens

	N	E	GG	F	M	Total	Nº Pacientes
Base Original (DICOM)	5733	1017	1942	2736	6112	17540	90
Base Aumentada (PNG)	17121	15255	17478	16164	16476	82494	88

Cada filtro é aplicado sobre as imagens originais de acordo com a classe, de modo que todas as classes atinjam um tamanho semelhante ao conjunto de imagens da classe menos rara. Abaixo é mostrado um exemplo da ampliação de uma amostra (Figura 1) em outras 4 amostras (Figura 2) após aplicação da técnica de geração de dados artificiais.

**Figura 1. Bloco Original****Figura 2. Blocos resultantes da geração de dados sintéticos**

4.2. Rede Neural Convolutacional - CNN

Foi projetada uma estrutura de aprendizado de máquina neural automática para extrair características discriminantes de amostras de treinamento e executar classificação ao mesmo tempo [Lecun et al. 2015]. A Rede Neural Convolutacional (CNN) foi construída por meio do *framework* Caffe na linguagem Python.

Para o uso da CNN foi dividido em conjuntos de pacientes para compor os grupos de treinamento, teste e validação, garantindo que as imagens de um mesmo paciente não pertencessem ao mesmo grupo. Foram selecionadas aproximadamente 70% das imagens para treinamento, 20% para teste e 10% para validação (Tabela 2).

Tabela 2. Divisão dos grupos para CNN

	Treino	Teste	Validação	Total
Imagens	56943	17079	8472	82494

A arquitetura base utilizada foi a LeNet-5 e baseando-se nesta arquitetura foram variados os parâmetros de *learning rate*, número de neurônios, número de camadas convolucionais, número de *pooling*, número filtros, tamanho do kernel e stride. Os parâmetros definidos foram escolhidos de acordo com estudos anteriores de CNN [Hafemann et al. 2014] que tiveram bons resultados para a classificação de textura em outros contextos, os quais, foram ajustados por meio de testes empíricos para a problemática apresentada.

A arquitetura construída consiste nas seguintes camadas, com os seguintes parâmetros:

- Camada de entrada: parâmetros de acordo com a resolução da imagem de 32×32 pixels;
- Duas combinações de camadas convolucionais e de *pooling*: cada camada convolutacional com 64 filtros, com tamanho de filtro definido para cada problema e *stride* definido igual a 1. O *pooling* possui 34 filtros de tamanho 3×3 e *stride* 2;

- Duas camadas localmente conectadas: 32 filtros de tamanho 3×3 e *stride* igual a 1;
- Camada de saída altamente conectada com 5 saídas equivalente ao número de classes do problema.

5. Resultados Parciais

Os experimentos foram conduzidos de acordo com a metodologia apresentada na seção anterior. Os resultados obtidos foram calculados por meio de uma matriz de confusão e são apresentados na tabela 3.

Tabela 3. Matriz de Confusão

	C1	C2	C3	C4	C5
C1	74,40%	3,18%	7,11%	5,96%	9,32%
C2	21,05%	76,26%	0,00%	0,67%	2,02%
C3	0,03%	0,03%	90,39%	7,24%	0,05%
C4	2,81%	5,56%	6,17%	81,17%	4,29%
C5	25,53%	22,06%	0,00%	0,06%	52,34%

6. Considerações Finais e Próximos Passos

Neste trabalho foram classificadas cinco classes de DPIs atingindo-se uma taxa de reconhecimento geral de 74,9%. A taxa de reconhecimento obtida ainda é menor que o estado da arte sendo necessário revisar a construção da arquitetura da rede neural proposta. Além disso, as confusões observadas na matriz de confusão podem estar relacionadas com a dificuldade de classificação devido a aparência similar dos diferentes padrões. Outro fator, influenciador na baixa acurácia de classificação, talvez ainda se dê pela pouca quantidade de imagens em comparação com a quantidade de amostras normalmente usada nos trabalhos de redes neurais. Como continuação deste trabalho, será aprofundado o estudo sobre redes neurais complexas buscando eliminar a tarefa de seleção de regiões de interesse em imagens radiológicas.

Referências

- A. Depeursinge, A. Vargas, A. P. e. a. (2011). *Building a reference multimedia database for interstitial lung diseases*. Computerized Medical Imaging and Graphics.
- Bagesteiro, L. D. (2015). *Classificação de Padrões Radiológicos por Blocos em Imagens não Segmentadas de Tomografia Computadorizada*. Universidade Federal do Paraná.
- Gao, M. and et al. (2015). Holistic Classification of CT Attenuation Patterns for Interstitial Lung Diseases via Deep Convolutional Neural Networks. *Workshop on Deep Learning in Medical Image Analysis (MICCAI)*.
- Hafemann, L. G., Oliveira, L. S., and Cavalin, P. R. (2014). An analysis of deep neural networks for texture classification.
- Krizhevsky, A., Sutskever, I., and Hinton, G. E. (2012). Imagenet classification with deep convolutional neural networks. *Advances In Neural Information Processing Systems*, pages 1–9.
- Lecun, Y., Bengio, Y., and Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature*, 521(1):436–444.

Análise automatizada de exames de urina utilizando imagens digitais de *dipsticks*

Rafaela Barbirato Ferreira¹, Lucas Ferrari de Oliveira^{1,2}

¹Curso Bacharelado em Informática Biomédica
Universidade Federal do Paraná (UFPR)
Curitiba - PR, Brasil

²Laboratório de Visão, Robótica e Imagem (VRI)
Programa de Pós-Graduação em Informática (PPGInf)
Universidade Federal do Paraná (UFPR)
Curitiba - PR, Brasil

rafaelabarbirato@gmail.com, lferrari@inf.ufpr.br

Abstract. *This paper describes a study on the dipsticks analysis for urine tests. For the purposes of this work, a database of dipsticks images was elaborated to enable the development and the performance evaluation of the information extraction techniques proposed. The information extraction was done in HSV and RGB color model. For the tests, the classifier MLP (Multi-layer Perceptron) was selected. The number of layers, neurons, learning rate, momentum and epoch were varied, in order to evaluate the best approach to the classification problem. The algorithm obtained a mean of 91.21% of success rate, proving to be efficient in the data classification. Experiments have confirmed that the technique is viable.*

Resumo. *Este artigo propõe um estudo sobre a análise de fitas reagentes (dipsticks) para exames de urina. Uma base de imagens de dipsticks foi criada, possibilitando o desenvolvimento e avaliação das técnicas de extração propostas. A extração de características das imagens foi feita utilizando-se os modelos de cores HSV e RGB. Para os testes o classificador escolhido foi o MLP (Multi-layer Perceptron). A quantidade de camadas da rede, número de neurônios, taxa de aprendizado, momentos e épocas foram variados, visando melhores resultados de classificação. O MLP obteve uma média de 91,21% de taxa de acerto, mostrando-se eficiente na classificação dos dados. Os experimentos desenvolvidos confirmaram que a técnica é viável.*

1. Introdução

No início da medicina o exercício da profissão ficava restrito apenas a observação e exame físico do paciente. Já os estudos laboratoriais apenas podiam ser realizados através das substâncias eliminadas pelo paciente, dentre elas a urina. Acredita-se que um dos procedimentos laboratoriais mais antigos, que tem sido utilizado desde o século XIX para diagnóstico de doenças, é a análise da urina [Strasinger 2000, Amorim et al. 2009].

A análise da urina, ou conhecida também como uroanálise, foi o grande começo da medicina laboratorial. Essa análise da urina era feita por meio de observações básicas, mas que traziam informações diagnósticas como a cor, turvação, odor e até mesmo

a presença de açúcar em certas amostras, observada pela aproximação de formigas e demais insetos [Bolodeoku and Donaldson 1996, Strasinger and Torquettitolo 1996]. A uroanálise foi definida pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2005, p.1) como "exame realizado numa amostra de urina humana para determinar os caracteres físicos e químicos e para verificar a presença de elementos figurados ou de outra origem"[ABNT 2005]. Esse exame é o terceiro mais realizado em laboratórios clínicos e pode ser obtido sem nenhum procedimento invasivo. O mesmo fornece informações importantes, tanto no que diz respeito ao diagnóstico e monitoramento de doenças renais ou do trato urinário, quanto para a detecção de doenças sistêmicas e metabólicas que podem estar relacionadas não apenas com os rins [Chien et al. 2007, Strasinger 2000]. Ao longo dos anos, o processo de análise do exame de urina evoluiu, com a finalidade de se obter resultados mais confiáveis e precisos. As técnicas desenvolvidas não envolvem apenas o exame físico, mas também o estudo por meio de microscópios, da coloração de Gram e das tiras impregnadas com reagentes conhecidas como *dipsticks* [Reine and Langston 2005, Bolodeoku and Donaldson 1996].

A tira é constituída por um suporte plástico contendo áreas impregnadas com reagentes químicos, conforme mostra a Figura 1. Quando as áreas de química seca entram em contato com a urina, uma reação de cor se desenvolve a qual permite a interpretação quase que imediata desses parâmetros químicos [Lima et al. 1992]. Os onze parâmetros analisados pela fita reagente da marca *Uriscan* são ácido ascórbico, bilirrubina, cetonas, densidade, glicose, leucócitos, nitrito, pH, proteínas, sangue e urobilinogênio.



Figura 1. Fita reagente da marca *Uriscan*.

Existem no mercado instrumentos que executam a leitura das fitas reagentes, eliminando a subjetividade do olho humano na leitura das mudanças de cor, melhorando assim o grau de precisão [Ravel 1995]. Apesar dos avanços tecnológicos ocorridos nos últimos anos, e da análise das fitas reagentes tornarem o diagnóstico mais rápido, simples e econômico, este processo ainda peca em alguns pontos. Os laboratórios possuem apenas duas alternativas quando o assunto é a análise dos *dipsticks*. A primeira opção é realizar a leitura das fitas manualmente por meio da análise visual, comparando a amostra com uma tabela de cores padrão. A segunda alternativa é utilizar equipamentos especializados para a análise. Porém, devido ao custo destes equipamentos, muitos laboratórios ficam restritos apenas à análise manual realizada pelos profissionais, um processo sujeito a erros de diagnóstico devido à subjetividade da interpretação humana.

Na área de Visão Computacional o processo de extração de características fornece informações para a etapa de classificação. Várias características podem ser obtidas de objetos, tais como estatísticas, histogramas, forma, tamanho, textura e frequência [de Queiroz and Gomes 2006]. Quanto mais discriminantes forem essas informações, mais eficiente será o processo de classificação e melhor será a tomada de decisão do classificador. Vários trabalhos como [Filho et al. 2014] e [Hanusiak et al. 2010] mostram que combinações de características podem ser complementares, auxiliando, desta forma, na tomada de decisão dos classificadores.

Neste trabalho é apresentada uma proposta que visa analisar o uso de técnicas de Visão Computacional para a classificação dos analitos presentes nos *dipsticks*, auxiliando, desta forma, a análise de urina e, posteriormente, incorporando um novo equipamento de baixo custo na rotina dos laboratórios.

2. Análise de Urina

Na literatura existente não foi encontrado nenhum trabalho relacionado ao aqui apresentado, porém algumas características presentes nos equipamentos de análise de urina são apresentados.

Um analisador de urina é um dispositivo utilizado no cenário clínico para realizar testes de modo automatizado. Esses equipamentos podem detectar e quantificar um número de analitos incluindo bilirrubina, proteína, glicose e sangue. Muitos modelos realizam a análise a partir de leitores de tiras de urina, um tipo de fotômetro de reflectância que pode processar várias centenas de tiras por hora. A reflectância se dá na relação da luminosidade refletida pela fita e o fluxo luminoso que incide sobre ela, fornecendo as informações necessárias para obtenção dos resultados de cada analito.

Atualmente, existem no mercado diversos equipamentos que permitem a análise dos *dipsticks*. Todos tem como objetivo otimizar o fluxo de trabalho, gerenciando as análises de forma eficiente e fornecendo resultados confiáveis para detectar estágios iniciais de muitas doenças, como infecções do trato urinário, doenças renais ou diabetes. Além disso, o uso do dispositivo elimina a subjetividade da avaliação visual da tira e minimiza os riscos associados à transcrição manual dos resultados. É o caso do equipamento *Uriscan Pro II* (Figura 2).



Figura 2. Equipamento *Uriscan Pro II*.

O analisador *Uriscan Pro II* pode ser utilizado em locais onde a demanda é média, com capacidade de análise de 720 tiras de teste por hora. O equipamento é suportado por um leitor de código de barras e uma impressora térmica [YD Diagnostics 2016]. Além da interface com código de barras, o equipamento também possui interface com o computador, mas é lenta e não prática, segundo informações do laboratório no qual foi desenvolvido o presente trabalho.

3. Materiais e Métodos

Para a aquisição das imagens, conforme a proposta do presente trabalho, utilizou-se o scanner *HP Scanjet 3800 Photo*. Com o intuito de facilitar a detecção da localização da

fitas, foi desenvolvida uma grade de alumínio de tamanho 30 x 22 cm contendo espaço para o posicionamento de 10 fitas. Cada um desses espaços possui tamanho 0,55 x 12,55 cm e espaçamento de 2 cm entre as mesmas (Figura 3).

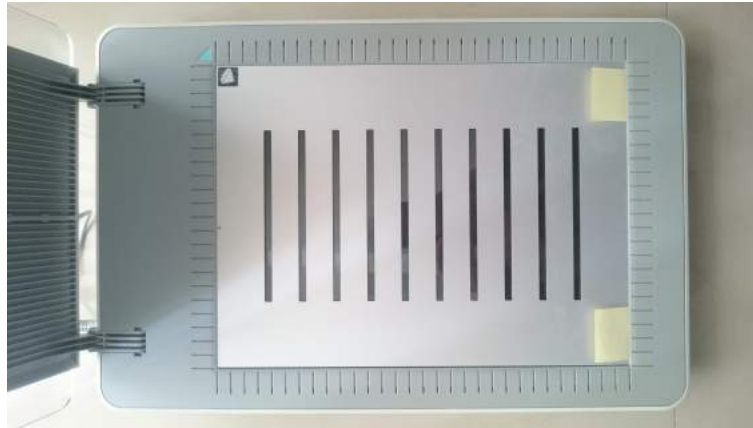


Figura 3. Grade posicionada no scanner.

As 300 urinas utilizadas para os testes estavam conservadas em geladeira no laboratório. As mesmas ficam armazenadas por uma semana e são descartadas após esse período.

O primeiro passo para que as análises pudessem ser feitas foi realizar as alíquotas das urinas que passariam pelo processo. Para tal, transferiu-se uma pequena quantidade para tubos de ensaio de fundo cônico, conforme Figura 4.



Figura 4. Alíquota de urina.

Após as urinas serem alíquotadas e registradas na máquina *Uriscan Pro II*, para cada urina, uma fita foi submergida e posicionada no equipamento. O segundo passo foi mergulhar novas fitas nas mesmas urinas e posicioná-las no *scanner*. No momento da aquisição da imagem, a resolução selecionada foi de 300 *dpi*.

Apesar da grade desenvolvida ter espaços para dez fitas reagentes, foram feitas imagens de 5 em 5 *dipsticks*, conforme a Figura 5, para que o tempo das primeiras fitas posicionadas não extrapolassem o tempo ideal de leitura, que fica entre um e dois minutos,

segundo a bula. Além disso, para que todas as fitas estivessem no seu tempo ótimo de análise, aguardou-se um minuto após o posicionamento da última no *scanner*.

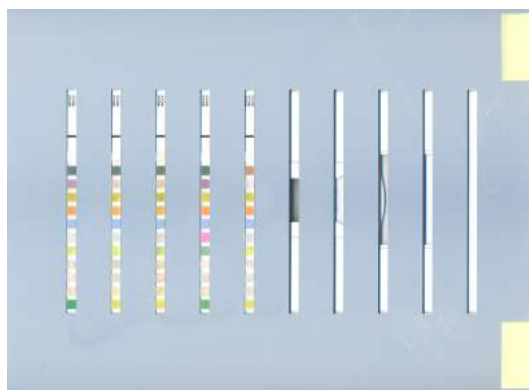


Figura 5. Exemplo de imagem adquirida.

A partir das imagens adquiridas, o primeiro passo do algoritmo realiza a segmentação das fitas. As coordenadas X e Y , inferior e superior, de cada *dipstick* da grade foram obtidas manualmente e implementadas internamente no algoritmo. O segundo passo consiste em segmentar as áreas reagentes de cada uma das fitas. Assim como no passo anterior, as coordenadas de cada área foram obtidas manualmente, e seus valores utilizados no algoritmo. Essas áreas foram segmentadas de modo a obter-se uma imagem de 50×50 *pixels* para adição na base de dados e posterior extração de informações.

3.1. Criação da Base *Patterns_1*

Para a criação da base, cada padrão ou área reagente, de cada fita, obtido pelas imagens escaneadas e segmentadas pelo algoritmo, foram salvas com os valores impressos pelo equipamento. Logo, as imagens foram nomeadas de acordo com o padrão que a mesma representava. Essas foram organizadas em onze pastas, onde cada uma delas representa um item analisado pela fita. Em cada uma desses onze diretórios encontram-se 300 imagens, de tamanho 50×50 *pixels* totalizando 3300 imagens.

Porém, em alguns casos, os padrões extremos de alguns analitos não foram obtidos, e, para valores próximos desses extremos poucas imagens foram adquiridas, tendo em vista a sua dificuldade de obtenção.

3.2. Extração de informações

A extração de informações das imagens organizadas na base de dados *Patterns_1* seguiu os passos:

- Converter a imagem para o modelo de cores HSV;
- Encontrar os valores máximo e mínimo para cada analito em cada canal HSV;
- Calcular para cada imagem a média dos valores dos canais H, S e V;
- Normalizar linearmente as médias dos canais, para ajustar as escalas de valores dos atributos para o intervalo $[0,1]$.

A normalização seguiu a equação 1:

$$f(x) = \frac{\bar{X} - Min}{Max - Min} \quad (1)$$

Onde \bar{X} é o valor a ser normalizado e Max e Min são os valores máximos e mínimos para cada canal de cor.

Visando ter informações complementares no modelo HSV, optou-se por utilizar, além das médias de cada canal, os valores de máximo e mínimo normalizados dos canais H, S e V. Alternativamente, a mesma abordagem foi tomada seguindo o modelo RGB.

4. Resultados e Discussão

Os resultados apresentados a seguir foram obtidos através da conversão das imagens da base *Patterns_1* para o modelo de cores HSV e dos atributos sendo representados pelas médias normalizadas de cada canal. Conforme descrito, optou-se por utilizar também o modelo de cores RGB e HSV com os valores normalizados de máximo e mínimo de cada canal como atributo, aliados as médias normalizadas. Porém, para os testes realizados com essas duas outras abordagens descritas não foram obtidos resultados significativos, comparados com os apresentados pela primeira abordagem, pois o uso desses valores não trouxe mudanças expressivas em relação a separação dos dados. Isso porque não foram obtidas informações adicionais que pudessem discriminar melhor as classes, resultando em uma projeção dos dados similar as obtidas com a utilização das médias normalizadas de cada canal H, S e V.

Os testes foram realizados através da técnica de *cross-validation*, denominado *k-fold*. Nesse procedimento o conjunto de dados é dividido em *k* conjuntos menores (*folds*), e para cada um desses *k* conjuntos, um modelo é treinado utilizando os outros *k-1* conjuntos como base de treinamento. No fim do processo, a taxa de acerto obtida pelo classificador é dada pela média dos valores provenientes de cada modelo obtido. No presente trabalho, optou-se por utilizar 10 *folds*.

Selecionada a opção de como os testes seriam executados, o próximo passo foi avaliar a performance do classificador de Redes Neurais (*Multilayer Perceptron*), a partir da manipulação do número de camadas e sua quantidade de neurônios, da taxa de aprendizado, momento e ciclos de treinamento.

A primeira etapa foi variar o número de neurônios nas camadas escondidas. O padrão trazido pelo *Weka* é de uma camada escondida representado pela letra *a*. Para as *MLPs* deste trabalho, utilizou-se além do valor padrão outros dois valores que definem a rede com duas e três camadas escondidas. Para a rede com duas camadas escondidas, a definição da quantidade de neurônios de cada camada deu-se através da combinação da quantidade de atributos e da quantidade de classes. Enquanto que no caso da rede de três camadas escondidas, a quantidade de neurônios foi definida a partir da combinação dos valores descritos anteriormente, mais a soma da quantidade de atributos e de classes. Com o intuito de facilitar na descrição dos resultados, as abordagens descritas foram denominadas de 2 Camadas e 3 Camadas.

Tendo em vista que cada item avaliado da fita reagente possui um número de classes diferentes, na Tabela 1 seguem os valores utilizados para o número de neurônios de cada camada.

	Atributos	Classes	Atributos + Classes
Ascórbico	3	4	7
Bilirrubina	3	3	6
Sangue	3	5	8
Cetonas	3	5	8
Densidade	3	6	9
Glicose	3	6	9
Leucócitos	3	5	8
Nitrito	3	2	5
pH	3	8	11
Proteínas	3	6	9
Urobilinogênio	3	4	7

Tabela 1. Quantidade de neurônios de cada camada.

Todas as configurações de camadas utilizaram, durante os testes, os valores *default* para a taxa de aprendizado (0,3), momento (0,2) e ciclos de treinamento (500).

Utilizando-se os melhores percentuais obtidos na variação do número de camadas e suas respectivas quantidades de neurônios, o passo seguinte foi variar a taxa de aprendizado. Os valores utilizados foram 0,1, 0,3, 0,5, 0,7, 0,9 e 1,0. Com a variação da taxa de aprendizado, foi possível observar que em alguns casos as taxas de acerto obtiveram uma pequena melhora, quando em comparação ao valor padrão (0,3). No caso da densidade a melhora foi de 2%, atingindo 74% com valor de aprendizado 0,1. A glicose e os leucócitos apresentaram melhora de 1%, atingindo 99,67% e 88,67% respectivamente. Esses percentuais foram alcançados com os valores de taxa 0,7 e 1,0 para a glicose e 0,5 e 1,0 para os leucócitos. Para o sangue (95,33%), nitrito (99,33%), pH (72,33%) e proteínas (86,33%), as melhores taxas de acerto foram obtidas com o valor *default* de aprendizado (0,3). O analito ascórbico apresentou 90,33% para aprendizado igual a 0,3 e 0,7, enquanto que para as cetonas, com 95,33%, as taxas de aprendizado foram 0,3 e 1,0. O urobilinogênio apresentou a mesma taxa de acerto para quase todos os valores de aprendizado, 98,33% para 0,3, 0,5, 0,9 e 1,0. Já no caso da bilirrubina (99%), o percentual foi o mesmo para todas as variações da taxa de aprendizado.

A partir das taxas de aprendizado definidas para cada analito, o próximo passo foi a variação do parâmetro momento, com os valores 0,1, 0,2, 0,3, 0,5, 0,7 e 0,9. Com a manipulação do parâmetro momento, foi possível observar que em apenas quatro casos as taxas de acerto obtiveram uma melhora, quando em comparação ao valor padrão (0,2). Foram os casos dos padrões bilirrubina, glicose, leucócitos e pH. Os itens bilirrubina, glicose e leucócitos obtiveram uma melhora de 0,33%, atingindo 99,33%, 100% e 89% respectivamente. Para a bilirrubina o valor do momento foi de 0,9, para a glicose o percentual foi atingido com os parâmetros 0,7 e 0,9 e para os leucócitos o momento foi de 0,1. Para o pH, o momento igual a 0,1, 0,5 e 0,7 proporcionou uma melhora de 1%, atingindo uma taxa de acerto de 73,33%.

O último passo dos testes com o algoritmo *MLP* foi variar o parâmetro *epoch* ou

ciclos de treinamento, com os valores 250, 500, 1000 e 2000. Foram utilizados a quantidade de camadas, neurônios, taxa de aprendizado e o momento, definidos nos passos anteriores para cada um dos analitos. A partir dos percentuais obtidos, foi possível perceber ganhos sutis para alguns dos itens analisados, quando comparados as taxa obtidas pelo valor padrão (500). É o caso da bilirrubina, densidade, leucócitos, pH e do urobilinogênio, atingindo 99,67%, 75%, 89,33%, 74% e 98,67%, respectivamente. Nos casos da densidade, pH e do urobilinogênio essas taxas foram atingidas com o valor de ciclos igual a 1000. Para a bilirrubina, a melhor taxa foi obtida com o valor 1000 e 2000, enquanto que para os leucócitos foi o valor 250.

A Tabela 2 apresenta as melhores configurações da rede neural para cada analito. A partir dos valores obtidos para cada um dos parâmetros manipulados é notável que em sua maioria foram mantidos os valores padrões definidos pela ferramenta *Weka*. Avaliando-se o número de camadas e de neurônios a maioria dos analitos obtiveram melhores resultados com o valor a, que apresenta apenas uma camada e com o número de neurônios igual ao chão da média aritmética entre a quantidade de atributos e a quantidade de classes. No caso da taxa de aprendizado, oito dos onze itens apresentaram melhores percentuais com o valor 0,3 e apesar de algumas variações, o momento também mostrou-se melhor com o valor *default* (0,2). Para o parâmetro ciclos de aprendizado seis dos onze analitos atingiram os melhores percentuais por meio do valor padrão (500), quatro dos itens obtiveram os melhores percentuais com ciclos igual a 1000 e apenas um com o valor 250.

	# Camadas	Taxa de Aprendizado	Momento	Ciclos	Percentual
Ascórbico	2 Camadas	0,3	0,2	500	90,33%
Bilirrubina	a	0,3	0,9	1000	99,67%
Cetonas	a	0,3	0,2	500	95,33%
Densidade	a	0,1	0,2	1000	75%
Glicose	a	0,7	0,7	500	100%
Leucócitos	3 Camadas	0,5	0,1	250	89,33%
Nítrito	3 Camadas	0,3	0,2	500	99,33%
pH	a	0,3	0,1	1000	74%
Proteínas	2 Camadas	0,3	0,2	500	86,33%
Sangue	3 Camadas	0,3	0,2	500	95,33%
Urobilinogênio	a	0,3	0,2	1000	98,67%

Tabela 2. Parâmetros do MLP que obtiveram os melhores percentuais.

Dos onze itens analisados, os dois que apresentaram os menores percentuais foram a densidade e o pH que atingiram respectivamente 75% e 74%. Tais resultados podem ser justificados pelas projeções dos dados de cada um dos analitos conforme a Figura 6 e a Figura 7.

É possível notar que nos casos da densidade e do pH há uma nuvem de exemplos de diferentes classes condensados, tornando a separação das amostras mais difícil. No caso da densidade, as classes 1015, 1020, 1025 e 1030 são as que se encontram mais embaraçadas, no canto superior esquerdo do gráfico, enquanto que para o analito pH, os valores 5, 5,5 e 6 são os que apresentam maior proximidade.

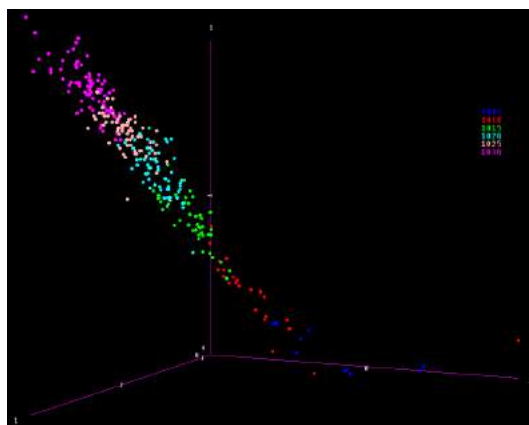


Figura 6. Projeção dos dados do analito densidade.

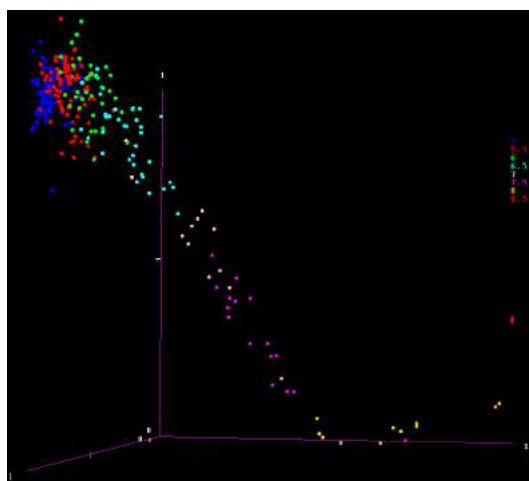


Figura 7. Projeção dos dados do analito pH.

5. Conclusão

No presente trabalho é proposta uma metodologia para análise das fitas reagentes no exame de urina utilizando-se um *scanner* de mesa convencional, técnicas de processamento de imagens e de aprendizado de máquina. Primeiramente construiu-se uma base de dados com imagens, adquiridas via *scanner*, de cada um dos itens analisados pela fita reagente. A partir destas imagens, foram extraídas informações que pudessem auxiliar no processo de classificação dos analitos.

A abordagem da extração de informações das imagens organizadas na base de imagens *Patterns_1* foi feita por meio da conversão das imagens para o modelo de cores HSV e da obtenção dos valores médios normalizados de cada um dos canais.

O classificador *MLP* foi testado através da manipulação do número de camadas e sua quantidade de neurônios, da taxa de aprendizado, momento e ciclos de treinamento. Em relação as configurações finais de cada analito, a maioria das *MLPs* obteve uma melhor resposta com os valores padrões definidos pela ferramenta *Weka*. No caso do número de camadas e de neurônios a maioria dos analitos obtiveram melhores resultados com o valor *a*. No caso da taxa de aprendizado, oito dos onze itens apresentaram melhores percentuais com o valor 0,3 e apesar de algumas variações, o momento também mostrou-se

melhor com o valor *default* (0, 2). Para o parâmetro ciclos de aprendizado seis dos onze analitos atingiram os melhores percentuais por meio do valor padrão (500).

O *MLP* mostrou-se eficiente na classificação dos dados, obtendo 91, 21% de taxa de acerto médio entre todos os analitos.

Apesar dos resultados promissores, é necessário aprimorar os métodos de extração e combinação de características, realizar testes com outros algoritmos de classificação e obter mais amostras dos casos extremos de cada padrão, que possam auxiliar na melhor definição das funções dos classificadores. Além disso, um estudo e avaliação das fitas reagentes faz-se necessário, medindo a variação das respostas entre fitas coletadas a partir de uma mesma amostra.

Referências

- ABNT (2005). *Associação Brasileira de Normas Técnicas. Laboratório clínico. Requisitos e recomendações para o exame da urina.*
- Amorim, A. E., Pacheco, J. B. P., Fernandes, T. T., and Biomedicina, F.-A. (2009). Exame de urina tipo i: frequência percentual de amostras que sugerem infecção urinária. *Anuário da Produção de Iniciação Científica Discente. 2008; 24 (12): 57, 68.*
- Bolodeoku, J. and Donaldson, D. (1996). Urinalysis in clinical diagnosis. *Journal of clinical pathology*, 49(8):623.
- Chien, T.-I., Kao, J.-T., Liu, H.-L., Lin, P.-C., Hong, J.-S., Hsieh, H.-P., and Chien, M.-J. (2007). Urine sediment examination: a comparison of automated urinalysis systems and manual microscopy. *Clinica Chimica Acta*, 384(1):28–34.
- de Queiroz, J. E. R. and Gomes, H. M. (2006). Introdução ao processamento digital de imagens. *RITA*, 13(2):11–42.
- Filho, P. L. P., Oliveira, L. S., Nisgoski, S., and Britto Jr, A. S. (2014). Forest species recognition using macroscopic images. *Machine Vision and Applications.*
- Hanusiak, R. K., Justino, E. J. R., Oliveira, L. S., and Sabourin, R. (2010). Identificação da autoria de manuscritos com base em atributos genéticos e genéricos da escrita. *Revista de Informática Teórica e Aplicada*, 17(2):193–209.
- Lima, A. O., Soares, J. B., Greco, J., Galizzi, J., and Cançado, J. R. (1992). *Métodos de laboratório aplicados à clínica: técnica e interpretação.* Guanabara Koogan.
- Ravel, R. (1995). *Laboratório clínico: aplicações clínicas dos dados laboratoriais.* Guanabara Koogan.
- Reine, N. J. and Langston, C. E. (2005). Urinalysis interpretation: how to squeeze out the maximum information from a small sample. *Clinical techniques in small animal practice*, 20(1):2–10.
- Strasinger, S. (2000). *Uroanálise e fluidos biológicos.*
- Strasinger, S. K. and Torquettitolo, M. R. (1996). *Uroanálise e fluidos biológicos.* Editorial Premier.
- YD Diagnostics, Y. (2016). Urican pro ii analyzer. http://www.yd-diagnostics.com/new/product/uriscan_3.php. Acessado em 15/08/2016.

Avaliação de Atributos de Textura de Núcleos Neoplásicos para a Classificação de Imagens Histológicas de Linfoma

Thaina A. A. Tosta¹, Paulo R. de Faria², Leandro A. Neves³, Marcelo Z. do Nascimento^{1,4}

¹Centro de Matemática, Computação e Cognição (CMCC)
Universidade Federal do ABC (UFABC)
CEP 09.210-580 – Santo André – SP

²Departamento de Histologia e Morfologia, Instituto de Ciências Biomédicas
Universidade Federal de Uberlândia (UFU)
CEP 38.400-902 – Uberlândia – MG

³Departamento de Ciências de Computação e Estatística
Universidade Estadual Paulista (UNESP)
CEP 15.054-000 – São José do Rio Preto – SP

⁴Faculdade de Computação
Universidade Federal de Uberlândia (UFU)
CEP 38.408-100 – Uberlândia – MG

{tosta.thaina,paulorfaria1976,neves.leandro,marcelo.zanchetta}@gmail.com

Abstract. *Through the use of image processing techniques, it is possible to develop computer-aided diagnosis systems so the analysis of histological samples can be more objective. Then, this paper presents an algorithm to classify histological images of follicular lymphoma and chronic lymphocytic leukemia. For identification of neoplastic nuclei, the R channel extraction from RGB model was performed, followed by the application of histogram equalization, Gaussian filter, fuzzy 3-partition entropy with differential evolution, valley-emphasis and morphological operations. Texture features obtained through ranklet and wavelet transforms were evaluated using the classification by support vector machines. The segmentation of neoplastic nuclei of the considered lesions has reached an average of 80.49% of accuracy in comparison with the manual segmentation of a specialist. The classification of these images using the ranklet transform has reached 98.65% of accuracy, indicating the good performance of this technique for texture analysis of lymphoma images.*

Resumo. *Pela utilização de técnicas de processamento digital de imagens, é possível desenvolver sistemas de auxílio a diagnósticos para que a análise de amostras histológicas torne-se mais objetiva. Assim, este trabalho propõe um algoritmo para a classificação de imagens histológicas de linfoma folicular e leucemia linfóide crônica. Para identificação de núcleos neoplásicos, o canal R do modelo de cores RGB foi extraído, seguido pelas aplicações de equalização do histograma, filtro Gaussiano, fuzzy 3-partition entropy com o método de evolução diferencial, valley-emphasis e operações morfológicas. Atributos de textura obtidos pelas transformadas ranklet e wavelet foram avaliados pela classificação de máquinas de vetores suporte. A segmentação de núcleos neoplásicos das lesões proporcionou uma taxa média de acurácia de 80,49%*

em relação à segmentação manual de um especialista. A classificação dessas imagens utilizando a transformada ranklet alcançou acurácia de 98,65%, indicando o bom desempenho dessa técnica para a análise de textura de imagens de linfoma.

1. Introdução

A definição de diagnósticos precisos de câncer é essencial para a escolha de tratamentos eficientes para o paciente [Orlov et al. 2010]. No entanto, ao ser realizada manualmente por especialistas, essa tarefa torna-se subjetiva e dispendiosa [Sertel et al. 2010]. Por meio da digitalização de amostras histológicas coradas com hematoxilina-eosina (H&E), métodos computacionais podem ser empregados para a identificação de regiões indicativas de diferentes tipos de câncer e para auxílio na definição de diagnósticos.

Os linfomas são neoplasias que se dividem em pelo menos 38 subtipos, de acordo com a Organização Mundial da Saúde. Seu desenvolvimento ocorre em células responsáveis pela defesa imunológica do organismo, chamadas linfócitos [Orlov et al. 2010]. Pela sua grande variedade de características histológicas e clínicas, os diagnósticos de seus subtipos tornam-se complexos. Essa condição também impõe limitações para aplicação de métodos de segmentação e classificação sobre imagens histológicas H&E de linfoma.

Diferentes trabalhos da literatura propõem a classificação de imagens histológicas de linfoma para auxílio a seus diagnósticos. Esses trabalhos apresentam algoritmos para a classificação de imagens de Linfoma de Células do Manto (LCM), Linfoma Folicular (LF) e Leucemia Linfóide Crônica (LLC). Entre eles, [Tuzel et al. 2007] apresentou um método de classificação de linfomas e imagens de sangue com uma etapa de segmentação para identificação de núcleos e citoplasmas. Para a extração de características, filtros lineares foram aplicados e seus resultados foram agrupadas pelo K-means para a obtenção de histogramas de textons. A etapa de classificação foi realizada pela técnica de máquinas de vetores suporte (*Support Vector Machines* - SVM).

[Orlov et al. 2010] utilizou para a classificação de linfomas a avaliação de diferentes modelos de cores, métodos de redução de dimensionalidade e classificadores. Os atributos extraídos foram obtidos por transformadas de Fourier, Chebyshev, *wavelet*, Chebyshev de Fourier e *wavelet* de Fourier. A combinação entre a técnica de deconvolução, a função discriminante linear de Fisher e o classificador *weighted neighbor distances* alcançou os melhores resultados. [do Nascimento et al. 2015] apresentou um método de classificação de imagens de linfoma utilizando atributos de textura extraídos de transformadas *wavelet* estacionárias. Esses atributos foram reduzidos pelo método de análise de variância e classificados pelo SVM. [di Ruberto et al. 2015] apresentou um algoritmo para classificação de diferentes imagens histológicas, incluindo linfomas. Os modelos de cores RGB, HSV, $L^*a^*b^*$, Luv e YCbCr foram avaliados para extração de características de textura. Pela análise de desempenho, o modelo HSV e matrizes de co-ocorrência alcançaram os melhores resultados utilizando o classificador SVM.

[Codella et al. 2016] também propôs a classificação de linfomas com uma etapa de pré-processamento com aumento de 20% de saturação de cores e equalização do histograma. Para identificar corantes de H&E, e regiões celulares e não-celulares, diferentes processamentos foram realizados sobre os canais *R* e *B* do modelo RGB e pelo método

de Otsu. A extração de atributos, como de canais de cores, arestas e *wavelet*, foi realizada considerando diferentes distribuições espaciais com classificação pelo SVM.

Uma das diferenças entre esses trabalhos é a utilização da etapa de segmentação para a identificação de regiões de interesse dessas lesões. Entre os estudos descritos, [Orlov et al. 2010], [do Nascimento et al. 2015] e [di Ruberto et al. 2015] não utilizaram essa etapa. Apesar dos bons resultados alcançados por essas propostas, a extração de atributos dessas regiões específicas podem contribuir para o desempenho da classificação [Orlov et al. 2010]. Além disso, trabalhos da literatura correlata não abordam análises de textura de núcleos neoplásicos para a classificação de imagens de LF e LLC, como proposto por este trabalho. Para a identificação dessas regiões de interesse, um método de limiarização foi aplicado por sua eficiência para a segmentação de estruturas histológicas [Oswal et al. 2013]. Nessa abordagem, um método de otimização evolutivo foi aplicado por sua robustez e bom desempenho em tempo de processamento [Sarkar et al. 2016].

Este trabalho propõe a avaliação de atributos de textura extraídos de núcleos celulares neoplásicos de imagens de LF e LLC para a classificação. Para isso, a identificação dessas regiões de interesse foi realizada pela combinação de técnicas divididas nas etapas de pré-processamento, segmentação e pós-processamento. Atributos de textura foram obtidos pelas transformadas *ranklet* e *wavelet*, e classificados pelo SVM, para definição da técnica mais adequada para auxílio a diagnósticos dessas lesões.

2. Materiais e Métodos

Nesta seção, são descritos o banco de imagens utilizado e o algoritmo proposto para classificação de imagens de LF e LLC.

2.1. Base de Imagens

As amostras histológicas utilizadas para validação do algoritmo proposto foram digitalizadas por meio de um microscópio de luz branca Zeiss Axioscope com lente objetiva de 20× e câmera colorida CCD AxioCam MR5. Tais amostras foram coradas com H&E e constituem uma base de imagens pública, disponível em [Shamir et al. 2008]. Foram utilizadas 62 imagens de LF e 12 de LLC. Em ambas as classes, cada caso possui aproximadamente 2.000 células, quantidade próxima a outros trabalhos dedicados à segmentação de imagens histológicas e citológicas [Dimitropoulos et al. 2016, Wang et al. 2016].

2.2. Método Proposto

O método proposto utiliza cinco etapas em sua sequência metodológica: pré-processamento, segmentação, pós-processamento, extração de características e classificação. Para implementação do algoritmo proposto, foi utilizada a linguagem MATLAB®.

Na etapa de pré-processamento, as imagens foram inicialmente submetidas à extração do canal *R* do modelo RGB, por seu maior contraste em relação ao fundo da imagem [Zorman et al. 2007]. As Figuras 1(b) e 2(b) ilustram esse processamento. Posteriormente, os métodos de equalização do histograma e filtro Gaussiano foram aplicados. A equalização do histograma foi utilizada para lidar com as diferenças de contraste e iluminação das imagens. O filtro Gaussiano permitiu a suavização da ima-

gem por meio da convolução de uma máscara, de tamanho 3×3 pixels, com elementos definidos por uma função Gaussiana bidimensional, com atribuição de σ ao valor 2 [Gonzalez and Woods 2000].

Para a segmentação dos núcleos neoplásicos, o método *fuzzy 3-partition* [Yin et al. 2014] foi aplicado sobre o histograma normalizado das imagens pré-processadas. Esse método permitiu a definição de dois valores de limiar, obtendo três componentes identificados nas imagens: núcleos, citoplasmas e fundo da imagem. Para que essa definição fosse obtida, foram utilizados dois pares das funções S e Z , representadas pelas Equações (1) e (2).

$$S(k, u, v, w) = \begin{cases} 1, & k \leq u \\ 1 - \frac{(k - u)^2}{(w - u) \cdot (v - u)}, & u < k \leq v \\ \frac{(k - v)^2}{(w - v) \cdot (v - u)}, & v < k \leq w \\ 0, & k > w \end{cases} \quad (1)$$

$$Z(k, u, v, w) = 1 - S(k, u, v, w). \quad (2)$$

Essas funções dividem os pixels em três *fuzzy sets*, definidos pelas Equações (3), (4) e (5), que representam os graus de associação a núcleo, citoplasma e fundo da imagem, respectivamente.

$$M_n(k) = S(k, u_1, v_1, w_1), \quad (3)$$

$$M_c(k) = \begin{cases} Z(k, u_1, v_1, w_1), & k \leq w_1, \\ S(k, u_2, v_2, w_2), & k > w_1, \end{cases} \quad (4)$$

$$M_f(k) = Z(k, u_2, v_2, w_2), \quad (5)$$

onde, u_1, v_1, w_1, u_2, v_2 e w_2 determinam a distribuição dos graus de associação. Os valores de limiar são então definidos pelos pontos de intersecção entre M_n e M_c , e M_c e M_f .

Para a definição dos parâmetros u_1, v_1, w_1, u_2, v_2 e w_2 , o método de Evolução Diferencial (ED) foi utilizado por sua simplicidade, robustez e convergência para ótimas soluções [Cuevas et al. 2016]. Essa técnica inicializa aleatoriamente sua população, neste trabalho, composta por 60 indivíduos representados por seis variáveis, correspondente à quantidade de parâmetros do método *fuzzy 3-partition*. A etapa seguinte consiste na definição da melhor solução proposta na população, x_{t_1} , obtida pela função de avaliação, dada pela maximização da entropia de Shannon:

$$H(u_1, v_1, w_1, u_2, v_2, w_2) = -P_n \cdot \log(P_n) - P_c \cdot \log(P_c) - P_f \cdot \log(P_f), \quad (6)$$

onde, as probabilidades P_n, P_c e P_f representam as probabilidades de cada estrutura investigada:

$$P_n = \sum_{k=0}^{255} h(k) \cdot M_n(k), \quad P_c = \sum_{k=0}^{255} h(k) \cdot M_c(k), \quad P_f = \sum_{k=0}^{255} h(k) \cdot M_f(k), \quad (7)$$

onde, $h(\cdot)$ representa o histograma normalizado da imagem pré-processada.

Após essa definição, a solução x_{r_1} passa pela etapa de mutação considerando duas outras soluções da população (x_{r_2} e x_{r_3}), escolhidas aleatoriamente. Assim, é obtida uma nova solução v_i :

$$v_i = x_{r_1} + F \cdot (x_{r_2} - x_{r_3}), \quad (8)$$

onde, i corresponde ao índice de um indivíduo da população e F representa o fator de mutação, neste trabalho, atribuído ao valor 0,5.

Posteriormente, as soluções propostas na geração em execução terão seus parâmetros alterados considerando a condição representada por (9), levando à obtenção do chamado *trial vector* (u_i).

$$u_{j,i} = \begin{cases} v_{j,i}, & \text{se } \text{rand}(0,1) \leq C_r \text{ ou } j = j_{\text{rand}}, \\ x_{j,i}, & \text{caso contrário,} \end{cases} \quad (9)$$

onde, $j_{\text{rand}} \in 1,2,\dots,6$ e $0 \leq C_r \leq 1$ representa a probabilidade de *crossover*, que controla a seleção de atributos a serem atribuídos à u_i . Neste trabalho, essa variável assumiu o valor 0,2.

Por fim, a operação de seleção é utilizada para otimização das soluções. Se o resultado da função de avaliação da solução u_i é maior ou igual ao da solução x_i , u_i substitui x_i na geração posterior. O algoritmo é executado até que o critério de parada de [Hammouche et al. 2008] seja alcançado.

Na etapa de pós-processamento, pequenos ruídos com áreas menores que 10 pixels foram removidos. Além disso, a segmentação foi refinada pela remoção de regiões inter-nucleares identificadas pelo método *valley-emphasis* [Ng 2006], aplicado sobre regiões com áreas maiores que 80 pixels. Nessa etapa, as operações morfológicas de abertura e dilatação [Gonzalez and Woods 2000] também foram utilizadas para que as regiões segmentadas tivessem seus atributos morfológicos próximos às marcações do especialista. Neste trabalho, os elementos estruturantes dessas operações possuíam distribuições em disco e quadrada, respectivamente.

Para extração de atributos de textura, foram avaliadas as medidas de entropia, energia, média e desvio padrão de componentes das transformadas *wavelet* coiflets 5 e *ranklet*. Transformadas *wavelet* descrevem de forma precisa atributos locais de sinais da imagem [Fiallos et al. 2015]. A decomposição de *wavelets* resultam na sub-banda de aproximação, que representa uma aproximação à imagem original, e em três sub-bandas que apresentam detalhes da imagem nas direções vertical (V), horizontal (H) e diagonal (D) [Lahmiri 2016]. A primeira destaca a iluminação da imagem, e as sub-bandas restantes representam as intensidades das bordas de objetos [Abbas 2017].

Transformadas *wavelet* discretas bidimensionais incluem quatro elementos críticos: uma função escalar bidimensional $\varphi(x, y)$ e três funções *wavelet* ($\psi^V(x, y)$, $\psi^H(x, y)$, $\psi^D(x, y)$). Essas funções são obtidas por duas funções unidimensionais. A transformada *wavelet* de uma imagem $f(x, y)$ de tamanho $M \times N$ é dada por [Yadav et al. 2015]:

$$W_\varphi(j_0, r, c) = \frac{1}{\sqrt{MN}} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \varphi_{j_0, r, c}(x, y), \quad (10)$$

$$W_\psi^i(j, r, c) = \frac{1}{\sqrt{MN}} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \psi_{j, r, c}^i(x, y), \quad i = \{V, H, D\}, \quad (11)$$

onde, j_0 corresponde a uma escala inicial arbitrária. Uma aproximação da imagem $f(x, y)$ na escala j_0 é definida pelos coeficientes $W_\varphi(j_0, r, c)$. Detalhes verticais, horizontais e diagonais para a escala j ($j \geq j_0$) são dados pelos coeficientes $W_\psi^i(j, r, c)$ [Yadav et al. 2015].

Uma das desvantagens das *wavelets* é a sua não robustez a transformações de brilho monotônicas, como obtidas pela equalização do histograma. Para a resolução dessa limitação, atributos estatísticos de classificação foram incorporados às *wavelets*, compondo as *ranklets* [Saha et al. 2011]. As transformadas *ranklets* são uma família de filtros multi-escalares com um padrão de orientação semelhante às *wavelets* de Haar [Smeraldi 2009]. Esse método é caracterizado por análises (1) de multi-resolução, (2) seletivas em orientação e (3) não paramétricas [Xi et al. 2017].

As análises de multi-resolução baseiam-se na definição de um conjunto de resoluções que determinam uma quantidade de regiões quadradas de cada imagem I . Em geral, para cada resolução, o número de regiões quadradas extraídas é dado por: $(I_l + 1 - I_c)^2$, onde I_l representa o tamanho linear da imagem I e I_c corresponde ao tamanho linear da região a ser extraída. Para cada resolução, as análises seletivas em orientação dividem os N pixels das regiões quadradas extraídas nos subconjuntos T e C , definidos de acordo com as orientações vertical, horizontal e diagonal. Por fim, para cada orientação de cada resolução, as análises não paramétricas são realizadas pela classificação relativa de pixels, ao invés da utilização de seus valores de intensidade [Masotti and Campanini 2008]:

$$R_j = \frac{\sum_{p \in T_j} \pi(p) - \frac{N}{4} \left(\frac{N}{2} + 1 \right)}{\frac{N^2}{8}} - 1, \quad j = V, H, D, \quad (12)$$

onde, $\sum_{p \in T_j} \pi(p)$ é a soma das classificações dos pixels $\pi(p)$ em T_j . O coeficiente da derivada *ranklet* R_j está mais próximo de +1 à medida que mais pixels de regiões em T_j tenham valores de intensidade maiores que pixels em C_j . Consequentemente, quanto mais próximo de -1, mais pixels de regiões em C_j possuem maiores níveis de intensidade que pixels em T_j [Masotti and Campanini 2008].

A classificação desses atributos foi realizada pelo SVM com a função de base radial e variável σ atribuída ao valor 1. Para avaliação da classificação, o método de validação cruzada foi aplicado com divisão das amostras de dados em 10 partições. Para

quantificação dos resultados, as medidas de acurácia, sensibilidade e especificidade foram utilizadas.

3. Resultados e Discussão

As Figuras 1 e 2 exemplificam resultados das etapas de pré-processamento, segmentação e pós-processamento de imagens H&E de LF e LLC, respectivamente. As Figuras 1(f) e 2(f) apresentam as imagens originais com a identificação nuclear obtida pelo algoritmo proposto. As Figuras 1(g) e 2(g) correspondem às identificações nucleares realizadas manualmente pelo especialista. Pela análise qualitativa desses resultados, é possível observar algumas identificações errôneas, com regiões falso positivas e falso negativas. A métrica de acurácia para análise dessa etapa alcançou valores de 81,40% e 79,59% para as lesões LF e LLC, respectivamente, quantificando a taxa de concordância entre as segmentações.

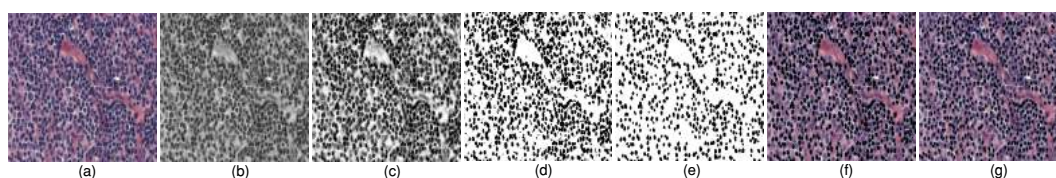


Figura 1. Exemplo de resultados obtidos para a segmentação de imagens de LF: (a) imagem original, (b) canal R extraído, (c) resultado da etapa de pré-processamento, (d) regiões segmentadas pelo método ED, (e) imagem resultante do pós-processamento, (f) imagem original com a identificação das regiões segmentadas pelo método não supervisionado e (g) segmentação manual realizada pelo especialista.

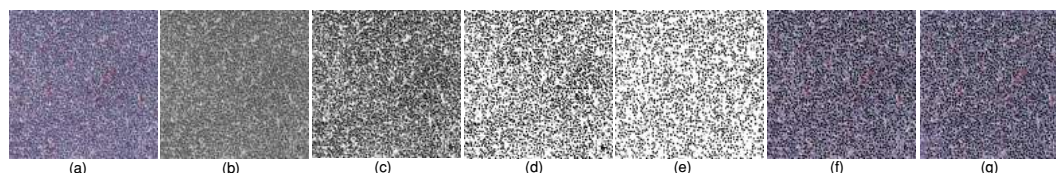


Figura 2. Segmentação de uma imagem de LLC pelo método proposto: (a) imagem original, (b) resultado da extração de seu canal R , (c) resultado do pré-processamento, (d) imagem resultante da segmentação, (e) imagem obtida pelo pós-processamento, (f) imagem original com a identificação das regiões segmentadas pelas etapas descritas e (g) identificações manuais do especialista.

A Tabela 1 apresenta os resultados da classificação LF \times LLC pelas medidas de acurácia, sensibilidade e especificidade utilizando os atributos de *ranklets* e *wavelets*. Pela variação dos atributos, os resultados de acurácia, sensibilidade e especificidade alcançaram diferenças de 14,87%, 14,52% e 16,66%, respectivamente, onde os atributos *ranklet* apresentaram os maiores resultados em todas as métricas. Pela decomposição da imagem em seus componentes vertical, horizontal e diagonal, a *ranklet* é composta por coeficientes de medidas de regularidade da vizinhança dos pixels de cada componente [Masotti and Campanini 2008]. Por essa propriedade, os atributos de textura extraídos por essa técnica demonstraram robustez a variação de cores das imagens [Lo et al. 2015]. Os resultados obtidos indicam que os atributos extraídos por essa técnica oferecem informações robustas para a tarefa de diagnóstico de imagens de LF e LLC.

Tabela 1. Resultados das medidas de acurácia, sensibilidade e especificidade da classificação LF×LLC pelos atributos *ranklet* e *wavelet*.

Atributos	Acurácia	Sensibilidade	Especificidade
<i>Ranklet</i>	98,65%	100%	91,66%
<i>Wavelet</i>	83,78%	85,48%	75%

Tabela 2. Estudos de classificação de linfoma descritos por suas referências, número de classes investigadas e acurácias.

Estudo de Classificação	Nº de Classes	Acurácia
[Codella et al. 2016]	3	95,50%
[Meng et al. 2010]	3	92,70%
[do Nascimento et al. 2015]	3	100,00%
[Orlov et al. 2010]	3	99,00
Método Proposto	2	98,65%

Para comparação com estudos que também propõem classificações de linfoma utilizando a mesma base de imagens desta proposta, a Tabela 2 apresenta seus resultados pela medida de acurácia. Entre os trabalhos apresentados, este estudo é o único que investiga a classificação de imagens de LF e LLC com a identificação de núcleos neoplásicos dessas lesões. Também é notório que os resultados obtidos por esta proposta são comparáveis aos estudos da literatura correlata.

4. Conclusão

Para a obtenção de diagnósticos de linfoma de forma objetiva, este trabalho propõe a classificação de imagens histológicas de linfoma. A combinação das técnicas empregadas no pré-processamento, segmentação e pós-processamento permitiram a identificação de núcleos neoplásicos com acurácias de 81,40% e 79,59% para as lesões LF e LLC, respectivamente, em relação à identificação de um especialista.

O desempenho da classificação das imagens, realizada pelo método SVM, foi analisado utilizando atributos de textura extraídos das transformadas *ranklet* e *wavelet*. Assim como para a representação de tumores [Angelini et al. 2006], a comparação entre atributos *ranklet* e *wavelet* permitiu definir a técnica *ranklet* como a mais adequada para a representação das imagens de linfoma analisadas.

Em trabalhos futuros, a etapa de segmentação será aprimorada para a remoção de regiões falso positivas e falso negativas. Ao solucionar essa limitação, espera-se que a classificação das imagens LF e LLC alcance resultados quantitativos máximos.

5. Agradecimentos

T.A.A.T. e M.Z.N. agradecem à CAPES e FAPEMIG (projeto TEC- APQ-02885-15) pelo suporte financeiro.

Referências

Abbas, Q. (2017). Segmentation of differential structures on computed tomography images for diagnosis lung-related diseases. *Biomedical Signal Processing and Control*, 33:325–334.

- Angelini, E., Campanini, R., Iampieri, E., Lanconelli, N., Masotti, M., Petkov, T., and Roffilli, M. (2006). A ranklet-based cad for digital mammography. In *International Workshop on Digital Mammography*, pages 340–346. Springer.
- Codella, N., Moradi, M., Matasar, M., Syeda-Mahmood, T., and Smith, J. R. (2016). Lymphoma diagnosis in histopathology using a multi-stage visual learning approach. In *SPIE Medical Imaging*, pages 97910H–97910H. International Society for Optics and Photonics.
- Cuevas, E., Zaldívar, D., and Perez-Cisneros, M. (2016). Image segmentation based on differential evolution optimization. In *Applications of Evolutionary Computation in Image Processing and Pattern Recognition*, pages 9–22. Springer.
- di Ruberto, C., Fodde, G., and Putzu, L. (2015). On different colour spaces for medical colour image classification. In *International Conference on Computer Analysis of Images and Patterns*, pages 477–488. Springer.
- Dimitropoulos, K., Barmpoutis, P., Koletsa, T., Kostopoulos, I., and Grammalidis, N. (2016). Automated detection and classification of nuclei in pax5 and h&e-stained tissue sections of follicular lymphoma. *Signal, Image and Video Processing*, 11(1):145–153.
- do Nascimento, M. Z., Neves, L., Duarte, S. C., Duarte, Y. A. S., and Batista, V. R. (2015). Classification of histological images based on the stationary wavelet transform. In *Journal of Physics: Conference Series*, volume 574, page 012133. IOP Publishing.
- Fiallos, C. B., Pérez, M. G., Conci, A., and Andaluz, V. H. (2015). Automatic detection of injuries in mammograms using image analysis techniques. In *International Conference on Systems, Signals and Image Processing (IWSSIP)*, pages 245–248. IEEE.
- Gonzalez, R. C. and Woods, R. E. (2000). *Processamento de Imagens Digitais*. Edgard Blucher.
- Hammouche, K., Diaf, M., and Siarry, P. (2008). A multilevel automatic thresholding method based on a genetic algorithm for a fast image segmentation. *Computer Vision and Image Understanding*, 109(2):163–175.
- Lahmiri, S. (2016). Image characterization by fractal descriptors in variational mode decomposition domain: Application to brain magnetic resonance. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 456:235–243.
- Lo, C. M., Chang, R. F., Huang, C. S., and Moon, W. K. (2015). Computer-aided diagnosis of breast tumors using textures from intensity transformed sonographic images. In *Global Conference on Biomedical Engineering & Asian-Pacific Conference on Medical and Biological Engineering*, pages 124–127. Springer.
- Masotti, M. and Campanini, R. (2008). Texture classification using invariant ranklet features. *Pattern Recognition Letters*, 29(14):1980–1986.
- Meng, T., Lin, L., Shyu, M., and Chen, S. (2010). Histology image classification using supervised classification and multimodal fusion. In *Multimedia (ISM), 2010 IEEE International Symposium on*, pages 145–152. IEEE.
- Ng, H. (2006). Automatic thresholding for defect detection. *Pattern recognition letters*, 27(14):1644–1649.

- Orlov, N. V., Chen, W. W., Eckley, D. M., Macura, T. J., Shamir, L., Jaffe, E. S., and Goldberg, I. G. (2010). Automatic classification of lymphoma images with transform-based global features. *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, 14(4):1003–1013.
- Oswal, V., Belle, A., Diegelmann, R., and Najarian, K. (2013). An entropy-based automated cell nuclei segmentation and quantification: Application in analysis of wound healing process. *Computational and mathematical methods in medicine*, 2013.
- Saha, M., Chowdhury, S. R., and Roy, K. (2011). Ranklets: A qualitative review. In *National Conference on Electronics, Communication and Signal Processing*, pages 68–73.
- Sarkar, S., Das, S., and Chaudhuri, S. S. (2016). Hyper-spectral image segmentation using rényi entropy based multi-level thresholding aided with differential evolution. *Expert Systems with Applications*, 50:120–129.
- Sertel, O., Lozanski, G., Shana'ah, A., and Gurcan, M. N. (2010). Computer-aided detection of centroblasts for follicular lymphoma grading using adaptive likelihood-based cell segmentation. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 57(10):2613–2616.
- Shamir, L., Orlov, N., Eckley, D. M., Macura, T. J., and Goldberg, I. G. (2008). Iicbu 2008: A proposed benchmark suite for biological image analysis. *Medical & Biological Engineering & Computing*, 46(9):943–947.
- Smeraldi, F. (2009). Fast algorithms for the computation of ranklets. In *IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, pages 3969–3972. IEEE.
- Tuzel, O., Yang, L., Meer, P., and Foran, D. J. (2007). Classification of hematologic malignancies using texton signatures. *Pattern Analysis and Applications*, 10(4):277–290.
- Wang, P., Hu, X., Li, Y., Liu, Q., and Zhu, X. (2016). Automatic cell nuclei segmentation and classification of breast cancer histopathology images. *Signal Processing*, 122:1–13.
- Xi, X., Xu, H., Shi, H., Zhang, C., Ding, H. Y., Zhang, G., Tang, Y., and Yin, Y. (2017). Robust texture analysis of multi-modal images using local structure preserving ranklet and multi-task learning for breast tumor diagnosis. *Neurocomputing*.
- Yadav, A. R., Anand, R. S., Dewal, M. L., and Gupta, S. (2015). Performance analysis of discrete wavelet transform based first-order statistical texture features for hardwood species classification. In *International Conference on Recent Trends in Computing*, volume 57, pages 214–221. Elsevier.
- Yin, S., Zhao, X., Wang, W., and Gong, M. (2014). Efficient multilevel image segmentation through fuzzy entropy maximization and graph cut optimization. *Pattern Recognition*, 47(9):2894–2907.
- Zorman, M., Kokol, P., Lenic, M., de la Rosa, J. L. S., Sigut, J. F., and Alayon, S. (2007). Symbol-based machine learning approach for supervised segmentation of follicular lymphoma images. In *IEEE International Symposium on Computer-Based Medical Systems*, pages 115–120. IEEE.

Investigando a Influência da Distribuição Espacial de Mosquitos na Propagação de Doenças via Autômato Celular

Julio Cesar de Azevedo Dias¹, Luiz Henrique Alves Monteiro^{1,2}

¹ Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica e Computação da Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, SP

² Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP

julio.dias@gmail.com, luizm@mackenzie.br, luizm@usp.br

Abstract. *In Brazil, contagious diseases transmitted by vectors are a serious public health problem. In this work, it is investigated how the spatial distribution of mosquitoes affects the spreading of diseases such as chikungunya. This investigation is based on a SIR-type model. The model is formulated in terms of a cellular automaton, in which each cell of the lattice corresponds to an individual of the host population. At each time step, each individual is in one of three states: susceptible (S), infected (I), or recovered (R). Four kinds of spatial distribution of mosquitoes are considered. The results of numerical simulations are discussed from an epidemiological point of view.*

Resumo. *No Brasil, doenças contagiosas transmitidas por vetores são um problema grave de saúde pública. Neste trabalho, investiga-se como a distribuição espacial de mosquitos afeta a propagação de doenças, como chicungunya. Essa investigação é baseada num modelo do tipo SIR. O modelo é formulado em termos de um autômato celular, em que cada célula do reticulado corresponde a um indivíduo da população hospedeira. A cada passo de tempo, cada indivíduo está em um de três estados: suscetível (S), infectado (I), ou recuperado (R). Quatro tipos de distribuição espacial de mosquitos são considerados. Os resultados de simulações numéricas são discutidos de um ponto de vista epidemiológico.*

1. Introdução

Muitos estudos epidemiológicos têm como objetivo prever como uma doença contagiosa se propaga, a fim de se elaborarem estratégias que possam eliminar ou, ao menos, controlar essa propagação [Anderson and May, 1991; Friis, 2009; Hethcote, 2000]. No Brasil, doenças transmitidas por vetores, em particular, por mosquitos, têm se tornado um grave problema de saúde pública. Nas últimas décadas, o Brasil tem padecido de epidemias recorrentes de dengue [Ministério da Saúde, 2017a,b]. Mais recentemente, chikungunya (ou chicungunha) e zika têm causado preocupação [Ministério da Saúde, 2017a,b]. E até a febre amarela, supostamente erradicada de centros urbanos, voltou ao noticiário após provocar dezenas de mortes no início de 2017 [Ministério da Saúde, 2017c]. Por isso, é relevante investigar como a distribuição espacial de mosquitos influencia a disseminação de doenças como aquelas mencionadas neste parágrafo.

Quando se deseja estudar a propagação de doenças levando em conta a região em que a população hospedeira vive, usam-se, em geral, modelos escritos ou em termos de equações a derivadas parciais [Murray, 2011] ou em termos de autômatos celulares [Wolfram, 1994]. Equações a derivadas parciais possibilitam a dedução de relações analíticas que colaboram para a compreensão do processo de propagação da doença em questão. Entretanto, a obtenção dessas relações pode ser difícil, por vezes impossível, de modo que, em muitos trabalhos, se buscam por soluções numéricas. Em alguns casos, porém, os algoritmos empregados na resolução numérica dessas equações apresentam problemas de convergência e de estabilidade, decorrentes da discretização do tempo e do espaço [Johnson, 2009].

Autômatos celulares são convenientes quando se pretende explorar alguma característica espacial do sistema analisado. Em particular, no caso de estudos epidemiológicos, o reticulado do autômato representa os indivíduos e/ou a região onde eles vivem, de modo que a dimensão espacial do sistema é naturalmente levada em consideração. Ainda, sua evolução temporal se dá por meio de regras, de modo que na simulação numérica de um autômato celular não há problemas de estabilidade ou de convergência, como pode ocorrer quando se integram numericamente equações diferenciais.

Há diversos estudos epidemiológicos baseados em autômato celular [Ahmed et al., 1998; Fuentes and Kuperman, 1999; Doran and Laffan, 2005; Slimi et al., 2009; Silva and Monteiro, 2014; Yang et al., 2015]. Aqui, usa-se um modelo do tipo SIR (suscetível-infectado-removido) [Kermack and McKendrick, 1927] formulado em termos de regras de um autômato celular probabilista. O objetivo é investigar como diferentes distribuições espaciais do vetor afetam a evolução temporal da doença; em particular, como afetam o número de pessoas infectadas em regime permanente (isto é, depois que o sistema atingiu seu atrator).

Este trabalho está organizado da seguinte maneira: na Seção 2, descreve-se o modelo epidemiológico; na Seção 3, apresentam-se os resultados obtidos em simulações computacionais; e, na Seção 4, discutem-se esses resultados.

2. O Modelo

Considere que a população hospedeira seja representada por um reticulado (uma matriz) de dimensões são $n \times n$, de modo que cada célula do reticulado corresponde a um único indivíduo. Assuma que cada célula tenha oito vizinhas, que são aquelas localizadas em seu entorno. A fim de que todas as células tenham o mesmo número de vizinhas, impõe-se que a primeira linha do reticulado está em contato com n -ésima linha, e que a primeira coluna está em contato com a n -ésima coluna, de modo que a superfície assim formada possui um formato toroidal. Dessa maneira, evitam-se efeitos de borda. Suponha, ainda, que a quantidade de mosquitos associada à j -ésima célula seja dada por m_j . Assim, a quantidade total de mosquitos no reticulado vale $\sum_j m_j = M$.

A cada passo de tempo t , cada célula está em um de três estados: suscetível S , infectado I ou recuperado R . Assume-se que as regras de transição de estados, que determinam a evolução temporal desse sistema, são probabilistas. As regras são as seguintes:

- A cada passo de tempo, a probabilidade P_{inf} de um indivíduo suscetível se tornar infectado é dada por $P_{inf} = 1 - e^{-kv}$, sendo v o número de vizinhos infectados e k a soma dos valores de m_j das oito células vizinhas. Portanto, se $v=0$ e/ou $k=0$, então $P_{inf}=0$; ou seja, se não há doente e/ou mosquito na vizinhança de um indivíduo suscetível no instante t , é nula a probabilidade de ele se tornar infectado no instante $t+1$. Observe que quanto maior o valor de v e/ou k , maior o valor de P_{inf} (de fato, se $kv \rightarrow \infty$, então $P_{inf} \rightarrow 1$).
- A cada passo de tempo, a probabilidade de um indivíduo infectado se curar é dada por P_{cura} . Suponha que a cura confira imunidade permanente em relação ao patógeno em questão.
- A cada passo de tempo, a probabilidade de um infectado morrer vale $P_{morte-I}$.
- A cada passo de tempo, um indivíduo recuperado (curado) pode morrer com probabilidade $P_{morte-R}$.

Por simplicidade, supõe-se que, quando um indivíduo I ou R morre, nasce um indivíduo S em seu lugar. Dessa maneira, o número total de indivíduos da população permanece constante e igual a $N=n^2$. Essa hipótese é válida em populações em que o número de mortes é compensado pelo número de nascimentos.

Observe que os parâmetros do modelo são: o número total de indivíduos N , as probabilidades P_{cura} , $P_{morte-I}$ e $P_{morte-R}$, a quantidade total de mosquitos M e a distribuição espacial m_j dos mosquitos. Esse modelo pode ser adequado para investigar a propagação, por exemplo, de chikungunya, cuja cura confere imunidade de longo prazo. Com as devidas adaptações, esse modelo por ser usado para estudar outras doenças transmitidas por mosquitos. Por exemplo, para se estudar a propagação de dengue, devem-se levar em conta seus quatro sorotipos (ou seja, o grupo dos indivíduos infectados e o grupo dos indivíduos recuperados devem ser divididos em subgrupos). Para se estudar a disseminação do vírus que causa zika, talvez se deva considerar também a possibilidade de transmissão direta via contato sexual [Ministério da Saúde, 2017a].

Os estados de todas as células são atualizados simultaneamente, a cada passo de tempo, o que é comumente chamado de atualização síncrona. Um modelo similar a esse, com k constante, foi proposto por Schimit and Monteiro (2009).

Na próxima seção, apresentam-se os resultados obtidos em simulações com esse autômato celular probabilista.

3. Simulações Numéricas

Aqui, tomam-se $n=200$ (assim, a população hospedeira é formada de $N=40000$ indivíduos), $P_{cura}=60\%$, $P_{morte-I}=30\%$ e $P_{morte-R}=10\%$. Em todas as simulações, a condição inicial é $S(0)/N=99\%$, $I(0)/N=1\%$ e $R(0)/N=0\%$ (portanto, em $t=0$, 99% da população é suscetível ao patógeno e 1% está infectada). Outros valores de parâmetros e de condições iniciais foram simulados, mas os resultados são qualitativamente iguais aos relatados a seguir.

Consideram-se quatro distribuições espaciais do vetor:

- Todas as células têm um mesmo valor não nulo de $m_j=m_{uniforme}$. Essa distribuição é denominada de uniforme, pois todas as células possuem uma mesma quantidade de mosquitos.
- Cada célula tem 50% de chance de ter um mesmo valor não nulo de $m_j=m_{aleatória}$ e 50% de chance de não ter mosquito. Essa distribuição é chamada de aleatória.
- Todas as células das colunas pares têm $m_j=m_{coluna}$ não nulo; todas as células das colunas ímpares têm m_j igual a zero. Chama-se esse caso de distribuição coluna.
- As células que formam uma matriz $p \times p$ no interior do reticulado (isto é, $p < n$) possuem $m_j=m_{concentrada}$ não nulo; para as demais células (aquelas fora dessa matriz $p \times p$), m_j vale zero. Essa distribuição é chamada de concentrada.

Nessas distribuições, $m_{uniforme}$, $m_{aleatória}$, m_{coluna} e $m_{concentrada}$ são constantes. Neste trabalho, investiga-se como essas quatro distribuições afetam a propagação da doença, impondo que o valor de M é o mesmo para as quatro distribuições. Assim, tem-se a mesma quantidade total de mosquitos nos quatro cenários. Por exemplo, $M=4000$ equivale a $m_{uniforme}=0,1$; $m_{aleatória}=m_{coluna}=0,2$ e $m_{concentrada}=0,4$ para $p=100$ (neste último caso, os mosquitos vivem numa matriz de dimensões 100×100 contida na matriz 200×200). Já $M=12000$ corresponde a $m_{uniforme}=0,3$; $m_{aleatória}=m_{coluna}=0,6$ e $m_{concentrada}=1,2$ (para $p=100$); $M=20000$ corresponde a $m_{uniforme}=0,5$; $m_{aleatória}=m_{coluna}=1$ e $m_{concentrada}=2$ (para $p=100$) e $M=120000$ implica $m_{uniforme}=3$; $m_{aleatória}=m_{coluna}=6$ e $m_{concentrada}=12$ (para $p=100$).

A Tabela 1 apresenta as médias das quantidades normalizadas de infectados em regime permanente, em função das quatro distribuições espaciais consideradas e de quatro valores de M . Para cada distribuição espacial, foram feitas 10 simulações. Para cada simulação, calculou-se o valor médio de $I(t)/N$ nos últimos 50 passos de tempo. Os números apresentados na Tabela 1 são as médias (considerando as 10 simulações) desses valores médios de $I(t)/N$ (considerando os últimos 50 passos de tempo de cada simulação) e os respectivos desvios padrões.

Tabela 1. Médias de $I(t)/N$ considerando os últimos 50 passos de tempo de 10 simulações, em função das distribuições espaciais e de M .

	distribuição uniforme	distribuição aleatória	distribuição coluna	distribuição concentrada
$M=4000$	0,1022±0,0004	0,0984±0,0005	0,0963±0,0003	0,0299±0,0002
$M=12000$	0,1149±0,0003	0,1131±0,0005	0,1127±0,0004	0,0301±0,0002
$M=20000$	0,1164±0,0003	0,1153±0,0004	0,1154±0,0004	0,0302±0,0002
$M=120000$	0,1168±0,0003	0,1163±0,0003	0,1167±0,0004	0,0302±0,0002

A Figura 1 mostra um exemplo da evolução temporal de $S(t)/N$, $I(t)/N$ e $R(t)/N$ por 200 passos de tempo, para uma distribuição uniforme de mosquitos com $M=4000$. Note que os infectados são, em regime permanente, cerca de 10% da população (um valor que obviamente está de acordo com a média correspondente ao caso de distribuição uniforme e $M=4000$ mostrado na Tabela 1).

A Tabela 1 revela que, para todas as distribuições, a quantidade de infectados cresce (lentamente) com o valor de M . Esse crescimento é esperado: quanto mais mosquitos, mais infecções devem ocorrer para uma dada distribuição espacial. Essa tabela revela também que as distribuições uniforme, aleatória e coluna têm médias próximas (em torno de 10%), mas a distribuição concentrada claramente leva a um menor número de infectados (em torno de 3%).

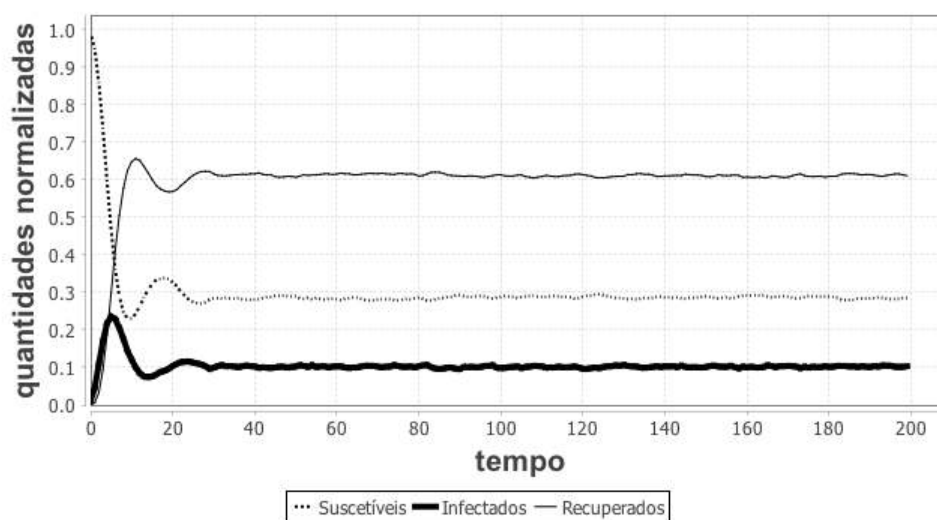


Figura 1. Exemplo de evolução temporal de $S(t)/N$, $I(t)/N$ e $R(t)/N$. A condição inicial é $S(0)/N=99\%$, $I(0)/N=1\%$ e $R(0)/N=0\%$. Valores dos parâmetros do ACP: $n=200$ ($N=40000$), $P_{cura}=60\%$, $P_{morte-I}=30\%$, $P_{morte-R}=10\%$, distribuição de vetores uniforme com $m_{uniforme}=0,1$ ($M=4000$).

Um trabalho teórico seminal sobre doenças transmitidas por vetores foi realizado por Ross (1908). Nesse trabalho, Ross apresentou o *teorema do mosquito*, no qual ele demonstra que a malária seria naturalmente erradicada de uma dada região se a quantidade de mosquitos nessa região ficasse abaixo de um valor crítico (Ross, 1908; Fine 1975). Esse trabalho, entretanto, não considera a dimensão espacial.

Inspirado nesse teorema, foram realizadas outras simulações para cada uma das quatro distribuições de vetores já descritas. O objetivo dessas simulações é determinar o valor de M abaixo do qual a doença não se torna endêmica em 10 simulações consecutivas; ou seja, o valor de M abaixo do qual o patógeno é naturalmente erradicado da população hospedeira em 10 simulações consecutivas. Obtiveram-se os seguintes valores: 1200 para a distribuição uniforme, 1000 para as distribuições aleatória e coluna,

e 300 para a distribuição concentrada. Esse resultado é bastante interessante. Apesar de a distribuição concentrada causar um menor número médio de infectados, essa distribuição é aquela que mantém a doença endêmica na população com uma menor quantidade de mosquitos. Por exemplo, se há 500 mosquitos no reticulado, a doença desaparece com o passar do tempo (ou seja, $I(t) \rightarrow 0$) se os mosquitos estão distribuídos de maneira uniforme, aleatória ou por coluna, mas ela permanece se os mosquitos ficam concentrados numa dada região do reticulado.

4. Conclusões

Neste trabalho, propôs-se um modelo epidemiológico do tipo SIR para investigar como diferentes distribuições espaciais do vetor afetam a propagação de doenças por ele transmitidas. O modelo baseia-se num autômato celular probabilista, que é caracterizado pela geometria e pelas dimensões do seu reticulado, pelos estados possíveis, pela vizinhança de cada célula, pelas regras que governam as transições de estados, e pela maneira com que essas regras são aplicadas (com o passar do tempo) às células que compõem o reticulado. Aqui, o autômato possui um reticulado bidimensional com condição de contorno periódica, com cada célula, a cada instante, assumindo um de três estados e tendo como vizinhança as oito células ao seu redor. A evolução temporal dos estados das células se dá pela aplicação de regras probabilistas de maneira síncrona. Foram consideradas quatro maneiras de distribuir o vetor pelo reticulado.

As simulações numéricas mostraram que, para uma mesma quantidade M de vetores, o número de infectados é aproximadamente o mesmo para as distribuições uniforme, aleatória e coluna; já, para a distribuição concentrada, esse número é claramente menor. Entretanto, a distribuição concentrada é aquela que exige um menor valor de M para que a doença seja eliminada da população hospedeira. Portanto, este trabalho sugere que é fundamental eliminar os locais de grande concentração de vetores, pois esses podem ser os principais responsáveis por manter a doença endêmica na população.

Pretende-se dar continuidade a este trabalho considerando outras distribuições espaciais do vetor e que essas distribuições podem se modificar com o passar do tempo (em função, por exemplo, da variação da temperatura e da quantidade de chuvas).

5. Agradecimentos

LHAM agradece o suporte financeiro do CNPq.

Referências

- Ahmed, E., Agiza, H. N., and Hassan, S. Z. (1998), "On modeling Hepatitis B transmission using cellular automata", *Journal of Statistical Physics*, v. 92, n. 3, p. 707-712.
- Anderson, R. M. and May, R. M. (1991), *Infectious Diseases of Humans*, Oxford University Press.
- Doran, J. R. and Laffan, S. W. (2005), "Simulating the spatial dynamics of foot and mouth disease outbreaks in feral pigs and livestock in Queensland, Australia, using a

- susceptible-infected-recovered cellular automata model”, *Preventive Veterinary Medicine*, v. 70, n. 1-2, 133-152.
- Fine, P. E. (1975), “Ross's a priori pathometry - a perspective”, *Proceedings of the Royal Society of Medicine (London)*, v. 68, n. 9, p.547-551.
- Friis, R. H. (2009), *Epidemiology* 101, Jones & Bartlett Learning.
- Fuentes, M. A. and Kuperman, M. N. (1999), “Cellular automata and epidemiological models with spatial dependence”, *Physica A*, v. 267, n. 3-4, p. 471-486.
- Hethcote, H. W. (2000), “The mathematics of infectious diseases”, *SIAM Review*, v. 42, n. 4, p. 599-653.
- Johnson, C. (2009), *Numerical Solution of Partial Differential Equations by the Finite Element Method*, Dover.
- Kermack, W. O. and McKendrick, A. G. (1927), “A contribution to the mathematical theory of epidemics”, *Proceedings of the Royal Society A*, v. 115, n. 772, p. 700-721.
- Ministério da Saúde (2017a), “Prevenção e Combate: Dengue, Chikungunya e Zika” <http://combateedes.saude.gov.br/pt/tira-duvidas>, acessado em março de 2017.
- Ministério da Saúde (2017b), “Monitoramento dos Casos de Dengue, Febre de Chikungunya e Febre pelo Vírus Zika até a Semana Epidemiológica 4, 2017”, *Boletim Epidemiológico*, v. 48, n. 5, p. 1-9.
- Ministério da Saúde (2017c), “Monitoramento dos Casos e Óbitos de Febre Amarela no Brasil”, *Informe n° 23/2017*, p. 1-5.
- Murray, J. D. (2011), *Mathematical Biology II: Spatial Models and Biomedical Applications*, Springer, 3rd edition.
- Ross, R. (1908), *Report on the Prevention of Malaria in Mauritius*, Waterlow and Sons.
- Schimit, P. H. T. and Monteiro, L. H. A. (2009), “On the basic reproduction number and the topological properties of the contact network: An epidemiological study in mainly locally connected cellular automata”. *Ecological Modelling*, v. 220, n. 7, p. 1034-1042.
- Silva, H. A. L. R. and Monteiro, L. H. A. (2014), “Self-sustained oscillations in epidemic models with infective immigrants”, *Ecological Complexity*, v. 17, p. 40-45.
- Slimi, R., El Yacoubi, S., Dumonteil, E., and Gourbiere, S. (2009), “A cellular automata model for Chagas disease”, *Applied Mathematical Modelling*, v. 33, n. 2, p. 1072-1085.
- Wolfram, S. (1994). *Cellular Automata and Complexity: Collected Papers*, Westview Press.
- Yang, F., Yang, Q., Liu, X., and Wang, P. (2015), “SIS evolutionary game model and multi-agent simulation of an infectious disease emergency”, *Technology and Health Care*, v. 23, n. s2, p. S603-S613.

Performance Evaluation of the Tree Augmented Naïve Bayes Classifier for Knowledge Discovery in Healthcare Databases

Mário W. L. Moreira^{1,2}, Joel J. P. C. Rodrigues^{1,3,4}, Antonio M. B. Oliveira²,
Kashif Saleem⁵, Augusto J. Venâncio Neto⁶

¹Instituto de Telecomunicações – Universidade da Beira Interior (UBI)
R. Marquês D'Ávila e Bolama – 6201-001 – Covilhã – Portugal

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)
Aracati, CE – Brazil

³Instituto Nacional de Telecomunicações (Inatel)
Santa Rita do Sapucaí, MG – Brazil

⁴Universidade de Fortaleza (UNIFOR)
Fortaleza, CE – Brazil

⁵Center of Excellence in Information Assurance (CoEIA)
King Saud University (KSU) – Riyadh, Kingdom of Saudi Arabia

⁶Departamento de Informática e Matemática Aplicada
Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) – Natal, RN – Brazil

{mario.moreira, joeljr}@ieee.org, amauroboliveira@gmail.com

ksaleem@ksu.edu.sa, agosto@dimap.ufrn.br

Abstract. *Smart decision support systems (DSSs) have been successfully employed in several areas. In healthcare, these systems offer solutions for uncertain reliably acts and moments. Systems based on Bayesian networks (BNs) can generate predictions even in information lack situations. This paper proposes the modeling and presents a performance evaluation study of the Bayesian classifier named Tree Augmented Naïve Bayes (TAN). Results show that the proposed algorithm obtained good performance for a pregnancy database, presenting F-measure 0.92, Kappa statistic 0.8932, and ROC area 0.993. The proposed method allows representing more complex connections between variables. Nevertheless, it requires major computational effort and time that are not needed in other Bayesian algorithms.*

1. Introduction

Smart decision support systems (DSSs) are major tools that help health experts in the prevention, diagnosis, diseases treatment, and patient accompaniment [Raffaeli et al. 2016, Manirabona et al. 2017]. It uses clinical information (sometimes, referred to as knowledge) that is incorporated into the system, helping health experts to analyze patient data as well as the decision-making process [Mushcab et al. 2017, Al-Khasawneh 2016]. These systems considers a knowledge base and an inference mechanism that uses the clinical data collected generating specific recommendations for each particular case. In

[Arisha and Rashwan 2016], the authors discuss different development phases of modeling approaches, presenting evidence that these methods can significantly improve decisions related to health care management at various levels. [Arshad et al. 2016] argue challenges to the existing healthcare industry. This study shows that despite the growing of extensive databases and valuable information no effective knowledge management gives experts substantial resources to an efficient decision-making process. The data classification provides decision makers with useful recommendations and guidelines based on the integrated knowledge and experience. In [Anand et al. 2016], the authors show how data mining (DM) can produce knowledge from a health data set. In this study, the performance evaluation and comparison between several DM techniques is presented. Results show that the use of these approaches in health systems provide useful identification and relevant information on patient health care. According to [Wang et al. 2008] problems involving DM are categorized into four groups, namely, statistical, data accuracy and standardization, technical, and organizational. Among them, there are the approaches based on the Bayes theorem. The main classifiers based on the well-known Bayes theorem in health are Naïve Bayes (NB) [Orphanou et al. 2016], TAN [Moore et al. 2014], and Averaged One-Dependence Estimators (AODE) [Kovács and Hajdu 2011]. The NB classifier assumes the nodes are conditionally independent, *i.e.*, the one event information is not informative about any other. The AODE classifier minimizes nodes dependency considering that, in real health problems, the attributes independence rarely occurs. Finally, the TAN classifier also relaxes the independence between nodes. However, the first presents a computational performance advantage in comparison to the second approach given that the AODE method lends itself directly to incremental learning.

For enhancing the biometrics systems performance, [Chiroma et al. 2014] compare the TAN classifier with the Markov Blanket (MB) approach in an iris dataset, using statistical indicators. Results show that the TAN classifier had a better performance in relation to MB. Regarding analyzing the time and computational complexity, both classifiers was found to be equal. This result is significant to evaluate the TAN model in other datasets. In [Wan and Freitas 2016], the authors propose a TAN algorithm variant, which considers removing the hierarchical redundancy during the classifier learning process. Results show that this approach obtained a better predictive performance than the conventional classifier. This study enhanced the robustness concerning imbalanced class distributions in aging-related gene datasets, using ontology terms as features. This research shows that TAN classifier has potential to be adjusted, thus improving its reliability. [Ren 2015] studies the breast cancer prediction problem in the aging population, using the TAN classifier in a clinical dataset. It is based on mammography examination features and demographic information to predict the malignancy probability, for the biopsy threshold setting and decision making. The author uses the 10-fold cross-validation technique and the Receiver Operating Characteristic (ROC) curves to evaluate the proposal, showing an interesting result. Considering the above mentioned details, the TAN classifier presented in this paper contains the potential for diseases identification inherent to risk pregnancy and can become a useful inference mechanism in health, helping clinicians in the decision-making process at uncertainty times in an efficient way for knowledge discovery.

The rest of the paper is organized as follows. Section II discusses the TAN classifier modeling and Section III shows the nodes relation proposal used to identify hyper-

tensive disorders as from symptoms presented by the patient. Section IV presents the performance evaluation, considering the comparison of Bayes-based methods, and the results analysis. Finally, Section V provides the conclusion and suggestions for further works.

2. TAN Classifier Modeling Proposal

The TAN classifier is a search algorithm that decides which node attributes depend on the class node. It uses a greedy search to add connections to the BN, initially assuming a set of blank child nodes for each node. At each step, it adds a new child node to another node, if that child node manages a better result of the used punctuation metric. The tree created by the TAN classifier is a structure that represents the dependencies between the attributes. This algorithm is similar to the NB, allowing, however, dependencies between the attributes. The constraints are that each attribute depends conditionally on the class (as it does on the NB) and that there are $n - 1$ attributes that conditionally depend on another attribute. This last condition implies that if there is a connection from X_i to X_j , these two attributes are not independent given the class. Instead, the influence of X_j on the probability of class C depends on the value of X_i . The dependencies structure is defined from the NB classifier. For TAN, it is also defined that all attributes depend on the class, but it is necessary to find the dependencies between the attributes following the described rules. To find the dependencies between the attributes this work uses the algorithm reported by [Huang et al. 2002]. Since each attribute can have, at most, one parent node, it is necessary to find the one with the greatest conditional probability given the value of C . In a simpler way, it is necessary to find the two attributes that have the highest correlation. When choosing for each attribute the one that has greater conditional dependence, it theoretically obtains the best dependencies representation. Equation (1) describes the TAN calculation, where the parents of the attribute X_i are represented by \prod_{X_i} and the attribute has as parents the class and at most another attribute.

$$P_A(X_1, \dots, X_n) = P_A(X_i | \prod X_i) \quad (1)$$

Dependency tree construction differentiates the TAN from the NB. This tree determines the TAN classifier performance. Theoretically, it is due to the dependence between the attributes that TAN improves the performance about the NB. To construct the tree that maximizes the mutual information between the attributes, follow the steps considered by the Algorithm 1.

Algorithm 1 General pseudo-code for TAN classifier

- Step 1:** Obtain the mutual information $I_P(X_i, X_j | C)$ between each pair of attributes i, j and construct a vector with this mutual information;
 - Step 2:** Construct a complete non-oriented graph, having as nodes the attributes and as cost of the connections the mutual information between the attributes;
 - Step 3:** Calculate the tree that maximizes mutual information, without creating cycles;
 - Step 4:** Transform the non-oriented tree into orientated, choosing as root the higher mutual information;
 - Step 5:** Add the class as the parent of all attributes.
-

Equation (2) shows mutual information I_P calculation necessary to complete the first step above considering that all attributes are class dependent.

$$I_P(X; Y|C) = \sum_{x,y,c} P(x, y, c) \frac{P(x, y|c)}{P(x|c)P(y|c)} \quad (2)$$

Equation (2) assumes that both attributes are class-dependent, thus computing the information X provides on Y given the class value.

According to these steps, next topic presents the relationship construction between nodes, whose attributes represent the symptoms presented by pregnant women who suffered hypertensive disorders during pregnancy.

3. Classifier Graph Structure for Hypertensive Disorders Identification in Pregnancy

During pregnancy, hypertension is the elevation of blood pressure that occurs in women who have never presented the problem before and who, if untreated, can have serious consequences for both mother and fetus. Hypertension during pregnancy occurs in 5 to 8% of pregnant women, being the main cause of maternal death during pregnancy [Khan et al. 2006]. The most dangerous of these disorders are preeclampsia and eclampsia. Preeclampsia is the increase in blood pressure accompanied by the protein elimination in the urine. Eclampsia is one of the most severe state of preeclampsia presenting, in addition to high blood pressure, various complications and repeated seizures, which may end in a coma and, eventually, death. Women who were already hypertensive before gestation and who continue to be hypertensive do not are the same diagnostic group as those who only present hypertension specifically during pregnancy. Hypertensive women require special care when they become pregnant, some of them similar to those due to preeclampsia or eclampsia, but their hypertension usually does not assume the proportions and potential preeclampsia and eclampsia risks. In the other way, pregnant women who have had high blood pressure or hyperglycemia during pregnancy are more likely to have these disorders later [Magee et al. 2014]. Figure 1 shows the graph constructed from symptoms information collected from 25 pregnant women who presented with a clinical condition of hypertensive disorder during pregnancy. Obstetrician and gynecologist physicians have contributed to this research in the construction of this database by their experience. For the modeling of this, the steps described above in algorithm 1 were used.

The four main hypertensive disorders in gestation that this article seeks to identify are the pre-existing hypertension complicating pregnancy, childbirth and puerperium (CH), the pre-existing hypertensive disorder with superimposed proteinuria (PS), gestational hypertension (pregnancy-induced) without significant proteinuria (GH), and preeclampsia or eclampsia (PE). A risk factor that needs to be identified is the pregnant woman gestational age. This identification is pertinent because some hypertensive disorders often occur in a certain gestation period. This study separates this period in two categories, to know, before the 20th week and after the 20th gestational week. Regarding the symptoms presented by the pregnant woman during pregnancy the main ones are arterial hypertension and urine protein loss (proteinuria). Hypertension is considered normal

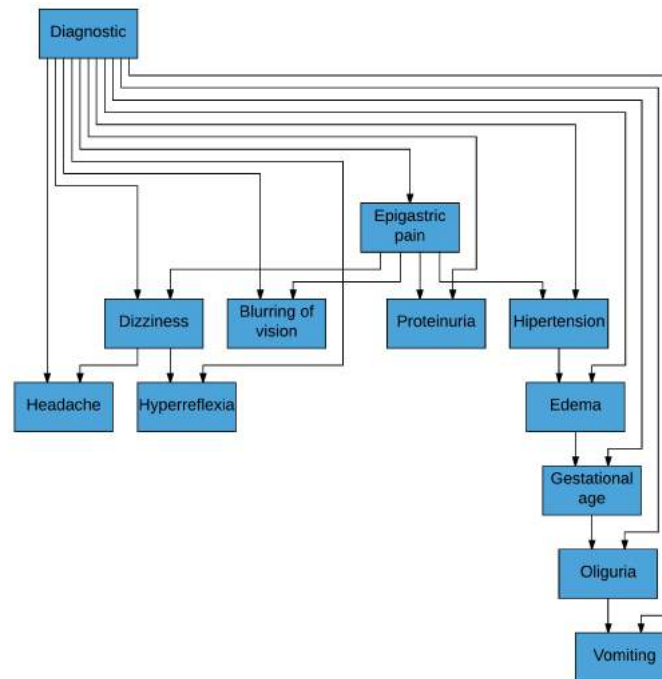


Figure 1. Graphical construction of the TAN classifier from a database of hypertensive disorders during risk pregnancy.

when both systolic and diastolic pressure is below 140mmHg and 90mmHg , respectively. It is high when both the systolic and diastolic pressure is between $140-159\text{mmHg}$ and $90-119\text{mmHg}$, respectively. It is very high when systolic pressure is greater than or equal to 160mmHg and/or diastolic is greater than or equal to 110mmHg . Regarding to proteinuria, the pregnant woman cannot present protein loss in the urine, present traces (more or less $300\text{mg}/24\text{hrs}$) and have severe loss (greater than $5\text{g}/24\text{hrs}$). This indicator is fundamental to differentiate PE from CH and GH.

It is important to detect early hypertensive states that constitute maternal and perinatal risk. Every pregnant woman with a hypertensive condition should be referred for high-risk prenatal care at the specialized service, since CH can progress to PE, when the hypertension is associated with proteinuria. PE is characterized by the elevated blood pressure presence levels during pregnancy. It usually occurs after the 20th week of gestation, by the gradual hypertension development, significant proteinuria and/or edema in hands or face. Differentiating a CH from PE is an important task of the prenatal care staff by the level of protein concentration in the urine.

4. Performance Evaluation and Result Analysis

For the proposed method performance evaluation, this paper uses the cross validation approach [Duda et al. 2012]. Under this method, data are divided into one part for training and other for testing. The k -fold cross validation method consists in dividing the total patterns set into k groups of approximately equal sizes. With this, training is performed k times, each time leaving one of the subgroups for testing. For each training, a classification error is calculated, and in the end, these errors average are calculated to achieve a final result. Then, from these results, a classification matrix is constructed, which com-

pares current values with predicted ones for each specified predicted state. The rows in the matrix represent the predicted values for the model and the columns representing the real values. The categories used in the analysis are false positives (FP), true positives (TP), false negatives (FN), and true negatives (TN). For the FP Rate, the best values for this indicator are closer to zero. Using the same database as in [Moreira et al. 2016], the table 1 below shows the performance evaluation of the TAN classifier and compares it with other Bayesian methods. The used indicators are the precision, which is the classifier ability to recognize a determining given class, and reject the others. The recall is defined by the classifier's ability to recognize all instances of an interest class. The F-measure is a harmonic mean between precision and recall. The equations for calculating precision (equation (3)), recall (equation (4)), and F-measure (equation (5)) are shown below.

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \quad (3)$$

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \quad (4)$$

$$F - measure = 2 \cdot \frac{Precision \cdot Recall}{Precision + Recall} \quad (5)$$

Table 1. Standard metrics values of Bayesian predictive classifiers computed on confusion matrix predictive parameters using the 5-fold cross validation method.

Approach	TP Rate	FP Rate	Prec.	Rec.	F-measure	Class
AODE	0.667	0.000	1.000	0.667	0.800	CH
NB	0.667	0.000	1.000	0.667	0.800	
TAN	0.500	0.158	0.500	0.500	0.500	
AODE	0.167	0.263	0.167	0.167	0.167	PS
NB	0.333	0.211	0.333	0.333	0.333	
TAN	0.167	0.211	0.200	0.167	0.182	
AODE	0.500	0.211	0.429	0.500	0.462	GH
NB	0.667	0.211	0.500	0.667	0.571	
TAN	0.167	0.211	0.200	0.167	0.182	
AODE	0.714	0.167	0.625	0.714	0.667	PE
NB	0.714	0.111	0.714	0.714	0.714	
TAN	0.571	0.278	0.444	0.571	0.500	

From all the presented results, the TAN classifier obtained a good performance only in the false positive rate (FPR) for the PS and GH classes. This rate is also known as false alarm rate, usually referring to the probability that the model result indicates a disease presence when, in fact, it does not exist. A value closest to zero for this indicator indicates a better predictive model. This occurs because the TAN classifier is not efficient at predicting unknown cases. This was due to the fact that the data are all different from each other. Table 2 shows the results obtained for the classifier when the test set is the same training set, that is, it checks the predictive capacity of the classifiers when the case already exists in the database.

Table 2. Standard metrics values of Bayesian predictive classifiers computed on confusion matrix predictive parameters when the test set is the same that the training set.

Approach	TP Rate	FP Rate	Prec.	Rec.	F-measure	Class
AODE	0.833	0.000	1.000	0.833	0.909	CH
NB	0.833	0.000	1.000	0.833	0.909	
TAN	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	
AODE	0.833	0.053	0.833	0.833	0.833	PS
NB	0.333	0.053	0.667	0.333	0.444	
TAN	0.833	0.053	0.833	0.833	0.833	
AODE	1.000	0.053	0.857	1.000	0.923	GH
NB	1.000	0.158	0.667	1.000	0.800	
TAN	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	
AODE	0.857	0.056	0.857	0.857	0.857	PE
NB	0.857	0.111	0.750	0.857	0.800	
TAN	0.857	0.056	0.857	0.857	0.857	

Results presented in Table 2 show that TAN classifier presented excellent performance for all classes, having optimal performance for the CH and GH classes. Even for classes that have a difficult prediction, such as the PE and PS classes, the proposed classifier performed above the NB classifier performance and was equal to the AODE classifier. The NB classifier, which proved to be an excellent predictor for unknown cases, showed only a reasonable performance to predict cases already registered in the database. Table 3 shows two other important indicators that are the receiver operator characteristic (ROC) area and the Kappa statistic. The ROC curve represents the relationship between specificity (FPR) and recall (TPR) of a quantitative diagnostic test. Area under ROC curve is ideal when its value is closest to 1. Kappa statistics is an agreement measure used on nominal scales that gives an idea of how far observations depart from those expected, thus indicating how reliable the interpretations are. The values presented in Table 3 are an arithmetic mean of the values of Table 2 for each class.

Table 3. Average standard metrics values of Bayes-based classifiers.

	TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-measure	ROC Area	Kappa statistic
AODE	0.880	0.041	0.886	0.88	0.880	0.979	0.8397
NB	0.760	0.082	0.770	0.76	0.741	0.942	0.6788
TAN	0.920	0.028	0.920	0.920	0.920	0.993	0.8932

Kappa statistic results for the AODE and TAN classifiers are considered excellent, whereas for the NB classifier it is considered substantial. Figure 2 shows the ROC curve for the Bayesian classifiers using Table 2 results for PE class. Models that present curves closest to the point (0, 1) are considered optimal models. The TAN classifier shows the best results for this indicator. The AODE and NB classifiers show similar results, thus indicating that the three models have a good relation between FPR (less possible value) and TPR (highest possible value).

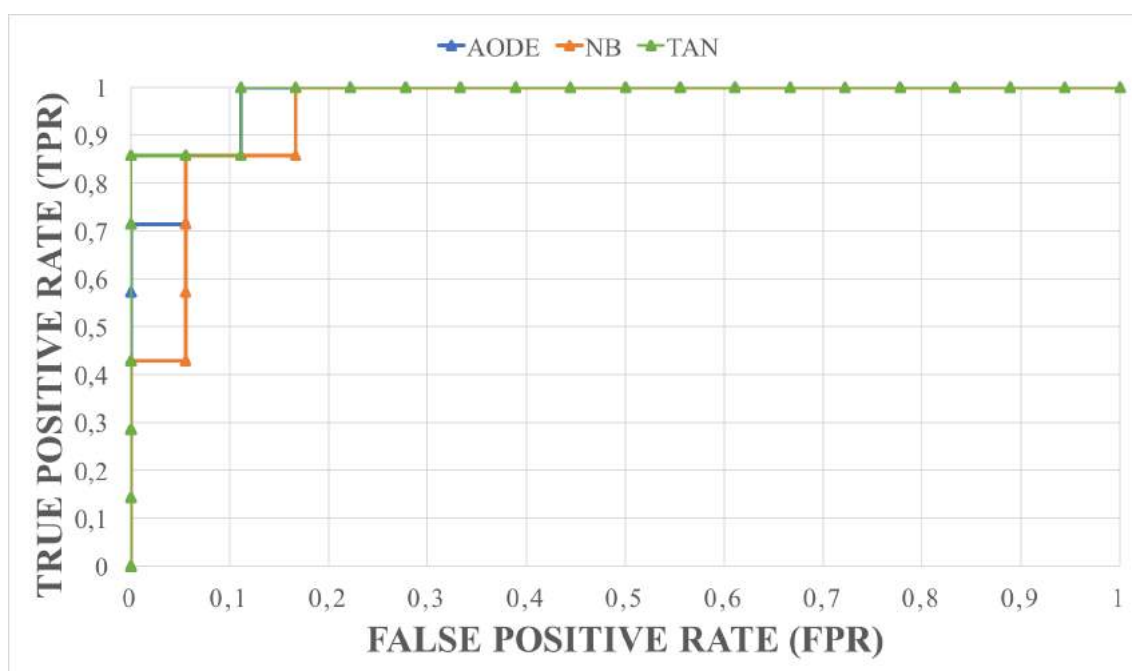


Figure 2. ROC curve to the all the Bayesian-based classifiers to the PE class.

5. Conclusion

This paper presented the modeling and performance comparison between AODE, NB, and TAN Bayesian classifiers. Using a database acquired from the medical experts' experience in risk pregnancy, the proposed models were evaluated using two methods, namely, the 5-fold cross-validation and a training set, *i.e.*, the classifier was tested on the same set in which it is trained. Although it did not perform well in the first validation method that identified the prediction accuracy for unknown data, the TAN classifier presented an excellent performance in the second validation method, which determined the prediction accuracy for data already registered in the database. An important result of this work was to show that the NB classifier that until then was a good classifier for recognizing cases not yet registered did not achieve the same performance for recognizing cases already known.

Further works suggest the inclusion of other variants for the classifiers presented, namely, NBTree, lazy Bayesian rules (LBR), super parent TAN (SP-TAN), backward sequential elimination and joining (BSEJ), backward sequential elimination (BSE), Bayesian classifier based wound characterization (BWC) [Chakraborty et al. 2016], and forward sequential selection (FSS). This work also proposes a study with a larger database to prove the TAN classifier efficiency in know data recognition. Other models based on artificial intelligence should also be experimented for the recognition of hypertensive disorders in pregnancy. Among them, tree-based models and those based on neural networks stand out. For the proposed model it is advisable to insert other risk factors and a set of nodes for the delivery outcome.

This study is an effort to develop a smart DSS that uses data-mining techniques to derive valuable insights from health databases. This system could contribute to the reduction of maternal mortality caused by the various types of hypertensive disorders

in the risk gestation. This task is part of the UN's sustainable development objectives. Achieving this goal will require an even greater effort on the part of all actors who make up those who care for high-risk pregnancies.

Acknowledgments

This work has been partially supported by the Instituto de Telecomunicações, Next Generation Networks and Applications Group (NetGNA), Portugal, by National Funding from the FCT - Fundação para a Ciência e a Tecnologia through the UID/EEA/50008/2013 Project, by Finep, with resources from Funttel, Grant No. 01.14.0231.00, under the Centro de Referência em Radiocomunicações - CRR project of the Instituto Nacional de Telecomunicações (Inatel), Brazil, and by Ciência sem Fronteiras of CNPq, Brazil, through the process number 207706/2014 – 0.

References

- Al-Khasawneh, A. (2016). Diagnosis of breast cancer using intelligent information systems techniques. *International Journal of E-Health and Medical Communications (IJEHMC)*, 7(1):65–75.
- Anand, T., Pal, R., and Dubey, S. K. (2016). Data mining in healthcare informatics: Techniques and applications. In *2016 3rd International Conference on Computing for Sustainable Global Development (INDIACom), March 16-18, New Delhi, India*, pages 4023–4029. IEEE.
- Arisha, A. and Rashwan, W. (2016). Modeling of healthcare systems: past, current and future trends. In *Proceedings of the 2016 Winter Simulation Conference, December 11-14, Washington, DC, USA*, pages 1523–1534. IEEE Press.
- Arshad, A., Noordin, M. F. B., and Othman, R. B. (2016). A comprehensive knowledge management process framework for healthcare information systems in healthcare industry of pakistan. In *2016 6th International Conference on Information and Communication Technology for The Muslim World (ICT4M), November 22-24, Jakarta, Indonesia*, pages 30–35. IEEE.
- Chakraborty, C., Gupta, B., and Ghosh, S. K. (2016). Chronic wound characterization using bayesian classifier under telemedicine framework. *International Journal of E-Health and Medical Communications (IJEHMC)*, 7(1):76–93.
- Chiroma, H., Gital, A., Abubakar, A., and Zeki, A. (2014). Comparing performances of markov blanket and tree augmented naive-bayes on the iris dataset. In *International MultiConference of Engineers and Computer Scientists (IMECS), March 12-14, Hong Kong, China*, pages 1–4.
- Duda, R. O., Hart, P. E., and Stork, D. G. (2012). *Pattern classification*. John Wiley & Sons.
- Huang, K., King, I., and Lyu, M. R. (2002). Constructing a large node chow-liu tree based on frequent itemsets. In *Proceedings of the 9th International Conference on Neural Information Processing (ICONIP'02), November 18-22, Singapore*, volume 1, pages 498–502. IEEE.

- Khan, K. S., Wojdyla, D., Say, L., Gülmezoglu, A. M., and Van Look, P. F. (2006). Who analysis of causes of maternal death: a systematic review. *The lancet*, 367(9516):1066–1074.
- Kovács, G. and Hajdu, A. (2011). Extraction of vascular system in retina images using averaged one-dependence estimators and orientation estimation in hidden markov random fields. In *2011 IEEE International Symposium on Biomedical Imaging: From Nano to Macro, March 30 - April 2, Chicago, IL, USA*, pages 693–696. IEEE.
- Magee, L. A., Pels, A., Helewa, M., Rey, E., von Dadelszen, P., Committee, S. H. G., et al. (2014). Diagnosis, evaluation, and management of the hypertensive disorders of pregnancy: executive summary. *Journal of Obstetrics and Gynaecology Canada*, 36(7):575–576.
- Manirabona, A., Fourati, L. C., and Boudjit, S. (2017). Investigation on healthcare monitoring systems: Innovative services and applications. *International Journal of E-Health and Medical Communications (IJEHMC)*, 8(1):1–18.
- Moore, L., Kambhampati, C., and Cleland, J. G. (2014). Classification of a real live heart failure clinical dataset-is tan bayes better than other bayes? In *2014 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (SMC), October 5-8, San Diego, CA, USA*, pages 882–887. IEEE.
- Moreira, M. W., Rodrigues, J. J., Oliveira, A. M., Saleem, K., and Neto, A. V. (2016). An inference mechanism using bayes-based classifiers in pregnancy care. In *2016 IEEE 18th International Conference on e-Health Networking, Applications and Services (Healthcom), September 14-17, Munich, Germany*, pages 1–5. IEEE.
- Mushcab, H., Kernohan, W. G., Wallace, J., Harper, R., and Martin, S. (2017). Self-management of diabetes mellitus with remote monitoring: A retrospective review of 214 cases. *International Journal of E-Health and Medical Communications (IJEHMC)*, 8(1):52–61.
- Orphanou, K., Dagliati, A., Sacchi, L., Stassopoulou, A., Keravnou, E., and Bellazzi, R. (2016). Combining naive bayes classifiers with temporal association rules for coronary heart disease diagnosis. In *2016 IEEE International Conference on Healthcare Informatics (ICHI), October 4-7, Chicago, IL, USA*, pages 81–92. IEEE.
- Raffaelli, L., Spinsante, S., and Gambi, E. (2016). Integrated smart tv-based personal e-health system. *International Journal of E-Health and Medical Communications (IJEHMC)*, 7(1):48–64.
- Ren, P. (2015). A tree augmented naive bayesian network experiment for breast cancer prediction. *ArXiv e-prints*, pages 1–24.
- Wan, C. and Freitas, A. A. (2016). A new hierarchical redundancy eliminated tree augmented naive bayes classifier for coping with gene ontology-based features. In *International Conference on Machine Learning (ICML 2016), June 19-24, New York, NY, USA*, pages 1–5.
- Wang, J., Hu, X., and Zhu, D. (2008). Minimizing the minus sides of mining data. In *Data Mining and Knowledge Discovery Technologies*, pages 254–279. IGI Global.

Reconhecimento Computadorizado de Padrões Inflamatórios de Sacroiliíte em Imagens de Ressonância Magnética

Matheus Calil Faleiros^{1,2}, José Raniery Ferreira Junior^{1,2}, Eddy Javala Jens¹, Vitor Faeda Dalto¹, Marcello Henrique Nogueira-Barbosa¹, Paulo Mazzoncini de Azevedo-Marques¹

¹ Centro de Ciências das Imagens e Física Médica - Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto Universidade de São Paulo (USP) - Ribeirão Preto - SP - Brasil

² Programa de Pós-Graduação Interunidades em Bioengenharia - Universidade de São Paulo (USP) - São Carlos - SP - Brasil

{matheus.faleiros, jose.raniery, eddy.zavala, vitor.dalto}@usp.br, {marcello, pmarques}@fmrp.usp.br

Abstract. *The reference standard to evaluate active inflammation of sacroiliac joints (SJ) in spondyloarthritis is magnetic resonance imaging (MRI). However, it may be challenging to specialists due to clinical variability. In this context, we aim to recognize inflammatory patterns of SJ using gray-level, texture, and spectral features. Features have been extracted from MRI exams of 51 patients and selected by the ReliefF feature selection method. Image classification was performed by machine learning methods and was assessed by the area under the receiver operating characteristic curve, with a 10-fold cross validation. Results have shown that the five nearest neighbors classifier presented the best performance for inflammatory pattern recognition.*

Resumo. *O método referência para avaliar a inflamação nas articulações sacroilíacas (AS) em espondiloartrites é a ressonância magnética (RM). Porém, ele pode apresentar desafios para especialistas devido a sua variabilidade clínica. Neste contexto, este trabalho visa reconhecer padrões inflamatórios de AS em imagens de RM utilizando atributos de níveis de cinza, textura e espectrais. Os atributos foram extraídos de 51 pacientes e selecionados pelo método ReliefF. A classificação foi realizada por métodos de aprendizado de máquina e avaliados pela área sob a curva ROC utilizando validação cruzada 10-fold. Resultados mostraram que o método de cinco vizinhos próximos apresentou maior precisão do que os outros classificadores.*

1. Introdução

Espondiloartrites (EpA) são um grupo de doenças inflamatórias crônicas que apresentam características clínicas e radiológicas comuns. As EpA causam comprometimento do esqueleto apendicular, coluna vertebral e articulações sacroilíacas (AS) [Barros 2011].

O método mais comum para diagnóstico precoce desta doença é a ressonância magnética (RM), pois ela é capaz de detectar o edema ósseo nas AS. Contudo, a interpretação visual das imagens de RM com EpA pode ter variação significativa entre observadores distintos e elevado grau de dificuldade na rotina clínica [Pialat 2016].

Considerando esse contexto, o objetivo do trabalho aqui apresentado é realizar o reconhecimento computadorizado de padrões inflamatórios de AS em imagens de RM, para auxiliar o diagnóstico precoce das EpA.

2. Material e Métodos

2.1 Aquisição e Processamento das Imagens

O trabalho foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Instituição. Foram selecionados retrospectivamente exames de RM de 51 pacientes com diagnóstico de espondiloartrites. As imagens analisadas foram adquiridas no plano coronal na sequência ponderação T2-SPAIR (*spectral attenuated inversion recovery*) [Dalto 2017]. Para cada exame foram obtidas 6 imagens (cortes) consecutivas da região das articulações sacroilíacas no plano coronal, que foram avaliadas de acordo com os critérios de diagnóstico de RM da Spondyloarthritis Research Consortium of Canada (SPARCC) [Maksymowych 2005]. As articulações esquerda e direita de cada imagem foram identificadas e manualmente segmentadas por um radiologista. As regiões contendo as articulações foram inseridas em um fundo preto para, em seguida, passarem por um algoritmo de processamento de imagens chamado *warp*, que faz uma transformação geométrica para que a região de interesse ocupe toda imagem (Figura 1). Aplicou-se também um algoritmo de Transformada de Fourier nas imagens pós *warp*, para possibilitar a extração de atributos espectrais.

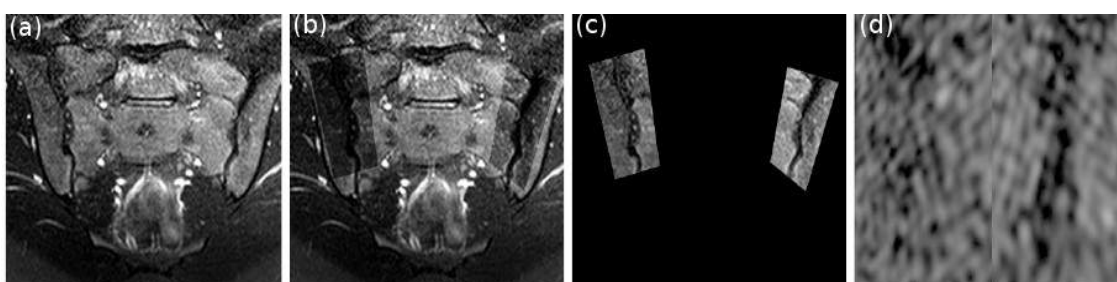


Figura 1. Processamento das imagens de RM. (a) Imagem de RM obtida; (b) Articulações identificadas por um radiologista; (c) Articulações segmentadas em fundo preto; (d) Articulações processadas pelo *warp*

2.2 Extração e Seleção dos Atributos

De cada uma das imagens processadas pelo método *warp* foram extraídos 7 atributos de níveis de cinza: Média, Desvio Padrão, Assimetria, Kurtosis, Variância, Coeficiente de Desvio e Valor Máximo de nível de cinza, 14 atributos extraídos da matriz de coocorrência e propostos por [Haralick 1973], e 18 extraídos do histograma propostos por [Tamura 1978]. Os atributos de [Haralick 1973] foram Segundo Momento Angular, Contraste, Correlação, Variância, Momento da Diferença Inversa, Média da Soma, Entropia da Soma, Variância da Soma, Entropia, Variância da Diferença, Entropia da Diferença, duas Medidas de Informação de Correlação e Coeficiente de Correlação Máxima. Já para [Tamura 1978] foram Contraste, Granularidade e Direcionalidade, obtidos em 16 direções. Os algoritmos de extração de atributos foram implementados em Java, utilizando-se a biblioteca *open-source* [JFeatureLib].

Do espectro de Fourier de cada imagem, em coordenadas polares, foram extraídos 39 atributos, sendo eles: Maior valor para cada valor de raio (10 raios), Maior valor para cada valor do ângulo *Theta* em cada um dos raios (18 *Thetas*), Energia Cumulativa para cada raio e Integral de metade da função de Fourier [Gonzalez e Woods 1993]. Os atributos de Fourier foram implementados na linguagem de programação Java, utilizando a transformada de Fourier disponível no software *open-source* ImageJ [Schneider 2012].

O vetor de atributos de cada paciente (exame) foi construído a partir da média e do desvio padrão de cada um dos atributos extraídos das suas 6 imagens, resultando em um vetor de 154 dimensões para cada exame.

A seleção de atributos mais relevantes foi realizada pelo método ReliefF [Kononenko 1994], com o método de busca do tipo Ranker, implementado pelo *software open-source* Weka [Frank 2016]. O ReliefF avalia o atributo individualmente de acordo com o seu valor para a classe majoritária entre múltiplas instâncias mais próximas do conjunto de dados fornecidos [Kononenko 1994]. Com a busca do tipo Ranker, os atributos são listados em ordem decrescente de acordo com a relevância atribuída pelo ReliefF.

2.3 Classificação das Imagens

Para a classificação, foram utilizados os métodos clássicos de aprendizado de máquina K Vizinhos Mais Próximos (valores de K de 1 a 5), rede neural artificial Perceptron Multicamadas, Naive Bayes, Floresta Aleatória e Árvore de Decisão J48. Os classificadores encontram-se implementados na ferramenta Weka [Frank 2016].

A combinação dos atributos com os classificadores utilizados foi feita de forma exaustiva, ou seja, os N primeiros atributos dados pelo ReliefF foram utilizados por todos os classificadores, para $155 > N > 0$.

3. Resultados

Para avaliar cada combinação de atributos para cada classificador, foi calculada a área sob a curva ROC (AUC - *area under the Receiver Operating Characteristic curve*) utilizando o método de validação cruzada 10-fold.

A Tabela 1 mostra uma relação dos maiores valores de AUC para cada classificador e a respectiva dimensão do vetor de atributos obtido pelo método ReliefF. Os valores de K são referentes ao classificador K Vizinhos Mais Próximos.

Tabela 1. Resultados do reconhecimento de padrões inflamatórios

Classificador	AUC	Número de Atributos
Naive Bayes	0.90	19
Perceptron Multicamadas	0.95	13
K = 1	0.90	5
K = 2	0.94	5
K = 3	0.95	19
K = 4	0.95	19
K = 5	0.96	17
Árvore de Decisão J48	0.76	5
Floresta Aleatória	0.93	45

4. Conclusão

Esse trabalho apresentou os resultados iniciais de uma pesquisa voltada para o reconhecimento computadorizado de padrões inflamatórios de sacroileíte em imagens

de ressonância magnética. O uso dos valores de média e desvio padrão dos atributos extraídos de cada corte das imagens dos exames avaliados, em conjunto com os métodos de seleção de atributos e classificadores testados, mostrou-se uma abordagem promissora para o reconhecimento dos padrões indicativos de atividade inflamatória da doença, com destaque para o classificador do tipo KNN com K igual a cinco.

Referências

- Barros, P. (2011) “Epidemiology of Spondyloarthritis in Brazil”, *The American Journal of the Medical Sciences*, 341(4), 287-288.
- Dalto, V., Assad, R., Crema, M., Louzada-Junior, P., Nogueira-Barbosa, M. (2017) “MRI assessment of bone marrow oedema in the sacroiliac joints of patients with spondyloarthritis: is the SPAIR T2w technique comparable to STIR?”, *European Radiology*, doi:10.1007/s00330-017-4746-7.
- Frank, E., Hall, M., Witten, I. (2016) “The WEKA Workbench”. Online Appendix for *Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques*, Fourth Edition.
- Gonzalez, R., Woods, R. (1993) *Digital image processing*, Addison-Wesley.
- Haralick, R., Shanmugam, K., Dinstein, I. (1973) “Textural Features for Image Classification”. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 3(6), 610-621.
- JFeatureLib open source project. <http://github.com/locked-fg/JFeatureLib>, 02/05/2016.
Fontes: Haralick.java - Autor: graf ; Tamura.java - Autor: Marko Keuschnig & Christian Penz ; Histogram.java - Autor: graf;
- Kononenko, I. (1994) “Estimating attributes: analysis and extensions of RELIEF”, *Machine Learning: ECML-94*. Springer Berlin Heidelberg, 171-182.
- Maksymowych, W., Inman, R., Salonen, D., Dhillon, S., Williams, M., Stone, M., Spady, B., Palsat, J., Lambert, R. (2005) “Spondyloarthritis research Consortium of Canada magnetic resonance imaging index for assessment of sacroiliac joint inflammation in ankylosing spondylitis”, *Arthritis & Rheumatism*, 53(5), 703-709.
- Pialat, J., Di Marco, L., Feydy, A., Peyron, C., Porta, B., Himpens, P., Boudrigua, A., Aubry, S. (2016) “Sacroiliac joints imaging in axial spondyloarthritis”, *Diagnostic and Interventional Imaging*, 97(7), 697-708.
- Schneider, C., Rasband, W., Eliceiri, K. (2012) “NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis”, *Nature Methods* 9(7): 671-675.
- Tamura, H., Mori, S., Yamawaki, T. (1978) “Textural Features Corresponding to Visual Perception”. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 8(6), 460-473.

Body Tracking MDV: sistema aplicado para fisioterapia com uso de tecnologias de controle por gestos

Marcos D. Vendramini¹, Paulo Augusto Nardi¹, Alexandre R. Paschoal^{1*}

¹Mestrado Profissional em Informática (PPGI),
Lab. de Jogos Digitais (UTFGames), Depto. de Computação,
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Cornélio Procópio - PR - Brasil

*paschoal@utfpr.edu.br

Abstract. *This article presents a program for the area of physiotherapy implemented with gesture control technologies, mapping the patient's body and tracking the exercise during its execution. The basis of its functioning is in the system of validation of the exercise by comparing angles and references of the body points, with models of correct movements previously stored. The program also provides feedback on patient evolution, comparing movements of the same exercise throughout the treatment. The project aims at helping the physiotherapist to monitor the patients' performance. Body Tracking MDV is available, including its source code at: <http://www.marcosdiasvendramini.com.br/mestrado/>.*

Resumo. *Este artigo apresenta um programa para área da fisioterapia implementado com tecnologias de controle por gestos, mapeando o corpo do paciente e rastreando o exercício durante sua execução. A base do seu funcionamento está no sistema de validação do exercício por comparação de ângulos e referências dos pontos corporais, com modelos de movimentos corretos previamente armazenados. O programa fornece, também, o feedback da evolução do paciente, comparando movimentos de um mesmo exercício ao longo do tratamento. O projeto visa a auxiliar o fisioterapeuta no monitoramento dos exercícios executados pelos pacientes. O Body Tracking MDV está disponível, inclusive seu código fonte em: <http://www.marcosdiasvendramini.com.br/mestrado/>.*

1. Introdução

Jogos sérios são aplicados na Saúde, em atividades terapêuticas e físico-motoras, com o objetivo de motivarem o paciente na execução de exercícios de reabilitação e de fornecerem constante *feedback* tanto para paciente como para terapeuta [Junior et al. 2013]. De acordo com [Clua 2014], o uso de dispositivos de captura de movimento potencializam a aplicação de tais jogos.

Dentre as tecnologias de captura de movimento está a de controle por gestos [Caprani et al. 2012], na qual o movimento corporal é capturado em tempo real [Chan et al. 2011] com o uso de sensores de movimento. Atualmente, estes sensores estão presentes em sistemas de entretenimento doméstico cuja popularização os tornou economicamente acessíveis, a exemplo do Kinect¹, ainda, tais equipamentos não são

¹Kinect é um sensor de movimento, que sincroniza cor e profundidade de imagens, possibilitando interações entre jogadores e aplicação sem a necessidade de controles [Han et al. 2013]. Desenvolvido pela PrimeSense e posteriormente adquirido pela Microsoft foi incorporado como periférico do console Xbox 360 [Webb and Ashley 2012].

intrusivos, o que torna fácil a aplicação em conjunto com aplicativos de reabilitação [Liu et al. 2013], como na fisioterapia.

Conforme revisão feita neste artigo (veja Tabela 1), apesar de existirem diversos aplicativos para fisioterapia, poucos são de código aberto, o que impede ou dificulta o reuso em novos tratamentos que necessitem adaptações ou extensões de suas funcionalidades.

Neste artigo, é apresentado um software de código aberto com tecnologia de controle por gestos para aplicações em atividades físicas e de reabilitação. O software Body Tracking MDV está disponível em: <http://www.marcosdiasvendramini.com.br/mestrado/>, sob a licença GNU GPL (*General Public License*)². A aplicação permite a captura dos movimentos do paciente, compara os dados extraídos com uma base de movimentos modelos previamente cadastrados e apresenta os resultados por meio de gráficos. A contribuição deste projeto foi a de disponibilização de um programa base de captura e comparação de movimento que possa ser reusável em conjunto com outras aplicações na área da Saúde, como ferramenta para ajudar em diagnóstico, ou em Jogos Sérios de Reabilitação.

O restante do artigo está estruturado da seguinte forma: na Seção 2, são apresentados os trabalhos relacionados; na Seção 3, é descrito o desenvolvimento e a arquitetura do sistema proposto; na Seção 4, é ilustrado um exemplo do sistema em execução e suas principais funcionalidades; e, na Seção 5, são apresentadas as considerações finais.

2. Trabalhos Relacionados

Foi realizada uma revisão bibliográfica dos artigos no período de 2010 até 2017 usando os termos *Rehabilitation Kinect*, *Gesture Rehabilitation*, *Rehabilitation Kinect Angle*, *Reabilitação Kinect*, Reabilitação Sensor Movimento e Controle Gestos Reabilitação como string de pesquisa. A busca foi executada nas bases de dados da IEEE Xplore Digital Library e Google Scholar. Removeram-se os artigos que não apresentavam: área da saúde e tecnologias de gesto.

Como resultado, dez artigos foram selecionados (Tabela 1). Destes, nove dos trabalhos usam Kinect, e um utiliza o Wii Remote³ [Romano et al. 2013].

O PhysioJoy [Balista 2013] utiliza o Kinect em três *serious games* comerciais que tratam de um tipo específico de lesão corporal ou cerebral, validando o movimento de membros superiores e inferiores por meio da localização de pontos. O Fisiogame [Fernandes et al. 2014] é um jogo com realidade aumentada/virtual para execução de exercícios de fisioterapia. Este reconhece o posicionamento do jogador mostrando na tela se o movimento está ou não sendo executado de forma correta. O jogo valida o movimento de membros superiores por meio de comparação por ângulos. O KSGphysio [Duarte et al. 2014] está desenvolvendo um jogo que faz a validação do movimento de membros superiores e inferiores por meio da comparação de ângulos, permitindo que o

²GNU *General Public License* ou Licença Pública Geral, é a designação da licença para software livre idealizada por Richard Matthew Stallman em 1989, no âmbito do projeto GNU da *Free Software Foundation* [Campos 2006].

³O Wii remote é o controle do console Wii, ele capta os movimentos realizados pelo usuário ao movê-lo, por meio de três acelerômetros embutidos e de uma câmera infravermelho [Sousa 2011].

Tabela 1. Comparativo de trabalhos relacionados

Nome	Ano	Dispositivo	Validação	MS	MI	PE	Licença
SeeMe Rehabilitation	2011	Kinect	Não Informado	X	X	X	Comercial
MIRA Rehab	2011	Kinect	Não Informado	X			Comercial
Saini et al. 2012	2012	Kinect	Ângulos	X	X		Código aberto
PhysioJoy	2013	Kinect	Localização dos pontos	X	X		Comercial
Romano et al. 2013 LabView	2013	Wii Remote	Localização dos Pontos			X	Comercial
NeuroAtHome	2013	Kinect	Não Informado	X	X	X	Comercial
KSGphysio	2014	Kinect	Ângulos	X	X		Fase de pesquisa
Fisiogame	2014	Kinect	Ângulos	X			Fase de pesquisa
Sousa et al. 2016	2016	Kinect	Ângulos	X	X	X	Fase de pesquisa
Estepa et al. 2016	2016	Kinect	Ângulos			X	Fase de pesquisa

MS: Membros Superiores. MI: Membros Inferiores. PE: Postura e Equilíbrio.

usuário defina a velocidade e o nível de dificuldade, adequando-se a condição do paciente para a execução do movimento.

Em [Romano et al. 2013], foi desenvolvido um software utilizando o LabVIEW, com o objetivo de demonstrar a adaptação deste software para leitura e quantificação dos dados gerados a partir do acessório Wii Balance Board. O foco das atividades é a avaliação do equilíbrio estático do paciente, utilizando a localização por pontos para validação da postura e equilíbrio corporal. O LabVIEW é um ambiente de desenvolvimento integrado, criado especificamente para engenheiros e cientistas, que oferece um conjunto abrangente de ferramentas que permite desenvolver qualquer aplicação de medição ou controle de forma rápida. O LabVIEW permite uma fácil programação em blocos com interação entre diversos tipos de softwares e plataformas, sendo possível organizar os dados de entrada e saída do projeto da melhor forma para a visualização e manipulação destes [Instruments 2017]. Em [Sousa et al. 2016], foi apresentado um software para fisioterapia que grava uma pose padrão para o exercício e compara com a pose executada pelo paciente. Para efetuar a comparação, o autor utiliza a angulação das articulações. Em [Estepa et al. 2016], também é realizada a comparação dos ângulos das articulações para validar os exercícios. O autor utiliza jogos sérios para o tratamento de postura e equilíbrio dos pacientes.

SeeMe Rehabilitation [Rehabilitation 2017], NeuroAtHome [Neuroathome 2016] e MIRA Rehab [Mira 2016] são jogos comerciais que utilizam o Kinect para a validação dos movimentos, mas a forma de validação não foi informada por nenhum dos autores. Em [Rehabilitation 2017] e [Neuroathome 2016]

são validados os exercícios dos membros superiores, membros inferiores e de postura e equilíbrio corporal, enquanto em [Mira 2016], são validados apenas os exercícios de membros superiores. Em [Saini et al. 2012], foi desenvolvido um jogo de código aberto que valida movimentos de membros superiores e membros inferiores, por meio da comparação dos ângulos das articulações.

Diferente dos trabalhos relacionados, o software apresentado neste artigo não se restringe a um tipo de exercício, sendo possível validar e analisar os membros superiores, membros inferiores, postura e equilíbrio. Ainda, o software oferece um cadastro completo de novos exercícios, permitindo ao fisioterapeuta adicionar novas validações. A restrição do software relaciona-se à oclusão de membros, pois o Kinect não capta a localização dos pontos que estejam obstruídos. Deste modo, se um ponto, como o da mão, passar por trás do corpo, sua localização se perderá pelo período em que estiver ocluído.

Dos trabalhos mencionados, apenas o trabalho dos autores [Saini et al. 2012] possui licença de código aberto, os trabalhos dos autores [Sousa et al. 2016], [Estepa et al. 2016] e os softwares KSGphysio, Fisiogame ainda estão em fase de desenvolvimento, não estando disponível para o público. Os demais trabalhos estão disponíveis, porém com licença comercial.

3. Body Tracking MDV: Desenvolvimento e arquitetura

Para a captura de movimentos, foi usado o Kinect 360, por apresentar melhor custo-benefício entre os dispositivos disponíveis no mercado e por atender às necessidades do projeto, como: reconhecimento de pontos por todo o corpo e alcance de até 400cm de profundidade - o que permite uma área de atuação satisfatória.

Na Figura 1, é esquematizada a aplicação da tecnologia de controle por gestos. O dispositivo captura a imagem e os pontos do corpo da pessoa; os dados são enviados para o sistema e armazenados para posterior validação dos movimentos, ou para ser cadastrado como exercício padrão e servir como modelo para a validação do movimento.

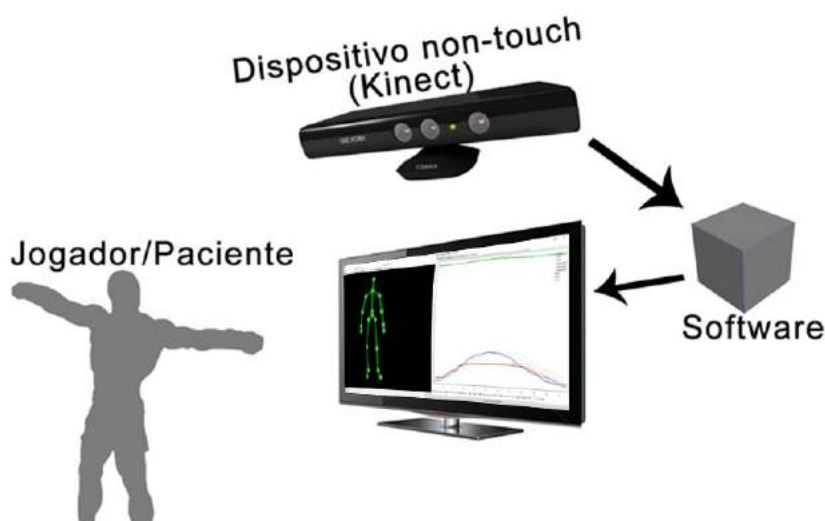


Figura 1. Aplicação da tecnologia de controle por gestos (Adaptado e atualizado de [Vendramini et al. 2015])

Para o desenvolvimento do software, foi utilizada a IDE (*Integrated Development Environment / Ambiente de Desenvolvimento Integrado*) Visual Studio Community 2015 da Microsoft. A programação da interface gráfica foi desenvolvida na *Windows Presentation Foundation (WPF)*, e as funcionalidades do software foram programadas na linguagem de programação C#. O pacote Visual Studio foi obtido gratuitamente em sua versão Community no site da Microsoft. Para a captura de movimentos, foi utilizada a biblioteca "Microsoft.Kinect", parte da versão 1.8 da SDK do Kinect 360.

Os dados da captura dos movimentos são convertidos pelo sistema em registros no formato JSON (*JavaScript Object Notation / Notação de Objetos JavaScript*). Cada registro representa os dados de cada um dos pontos corporais, contendo a posição de cada ponto na horizontal (X), vertical (Y) e profundidade (Z).

4. Funcionalidades e aplicações

Atualmente o sistema possui seis exercícios cadastrados: um de elevação lateral do braço esquerdo; um de elevação lateral do braço direito; um de elevação lateral com os dois braços simultâneos; um para o joelho esquerdo; um para o joelho direito; e, um para a postura da coluna vertebral. Cada exercício cadastrado possui uma base de dados de modelos com várias execuções do exercício.

O sistema permite o cadastramento de novos movimentos modelos, isto é, aqueles corretamente executados e que servirão como base de comparação para os exercícios realizados pelos pacientes. A seleção dos movimentos modelos e seu cadastramento são realizados manualmente por um profissional responsável pela operação do software, na tela de cadastro de exercícios/movimentos Figura 2. Nesta tela, o profissional deve informar qual o nome do exercício e o caminho físico dos dados do exercício modelo, selecionando a pasta salva com o nome do movimento informado na tela de captura.

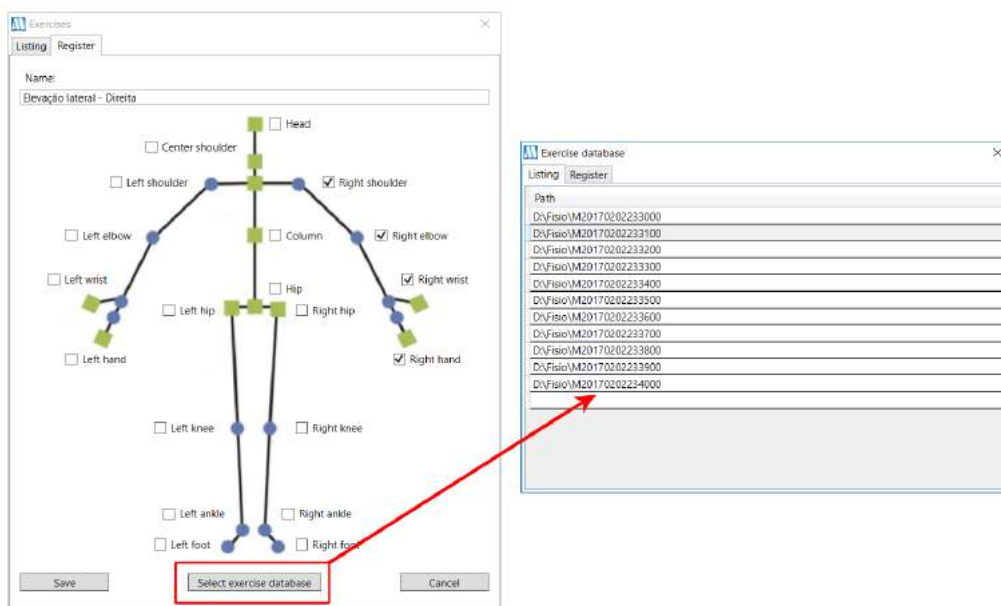


Figura 2. Captura dos dados com personalização dos pontos e itens cadastrados

Ao iniciar a utilização do sistema para a realização do exercício, o profissional

deve cadastrar o paciente com os seguintes dados: nome, data de nascimento e, opcionalmente, observação.

A configuração da captura dos dados do paciente é realizada por meio de uma tela, como na Figura 3. Nesta etapa, deve-se escolher o nome do paciente e o exercício ou movimento que será executado. Também é possível efetuar configurações visuais, como mostrar a pessoa na tela, mostrar as ligações e articulações, e se o vídeo do exercício deve ser salvo. Todos os dados obtidos pela captura são salvos em um arquivo JSON, conforme mencionado anteriormente.

Caso a opção de salvar o vídeo da pessoa esteja habilitada, o sistema armazena também a imagem da pessoa em formato PNG (*Portable Network Graphics*), sincronizada com a posição dos pontos do corpo salvos no JSON. Deste modo, para cada registro, é salva uma imagem do paciente. De acordo com [Microsoft 2017], o Kinect 360 possui uma taxa de atualização de trinta quadros por segundo, gerando assim trinta registros no arquivo JSON com as referências dos pontos corporais, e caso a opção de salvar o vídeo da pessoa esteja habilitada, trinta imagens do paciente são armazenadas, por segundo.

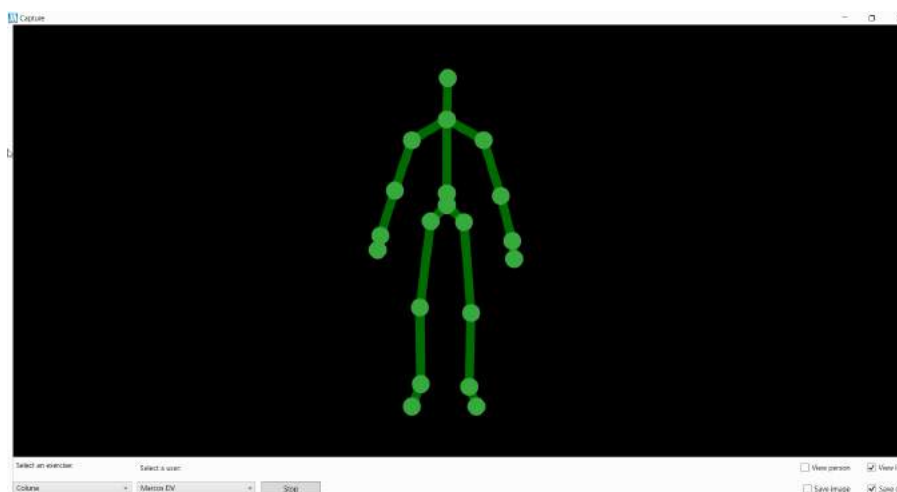


Figura 3. Tela de captura dos dados do exercício

Após a captura de um movimento, o software apresenta os dados extraídos na forma de gráfico (Figura 4) para análise do profissional. Caso a opção de gravar o movimento em vídeo seja habilitada, este é apresentado à esquerda do gráfico. O software permite a opção de avançar ou retroceder a execução do movimento gravado.

Para iniciar a análise, o profissional deve escolher o paciente e o exercício a ser analisado. O software mostra todo o movimento que foi coletado na tela de captura e apresenta uma tela com todos os dados do movimento em forma de gráfico. Nesta tela, é possível escolher qual ponto do corpo será analisado. Uma vez definido o ponto do corpo, o software monta um gráfico gerado com os dados do movimento. Os gráficos acompanham o movimento do paciente que está sendo exibido na tela de análise, facilitando a visualização dos dados do movimento.

Este gráfico, exibido em destaque na Figura 5, compara o movimento realizado pelo paciente com base nos movimentos modelos para um exercício específico, gerando uma média e um desvio padrão do movimento. O gráfico mostra a variação do movimento

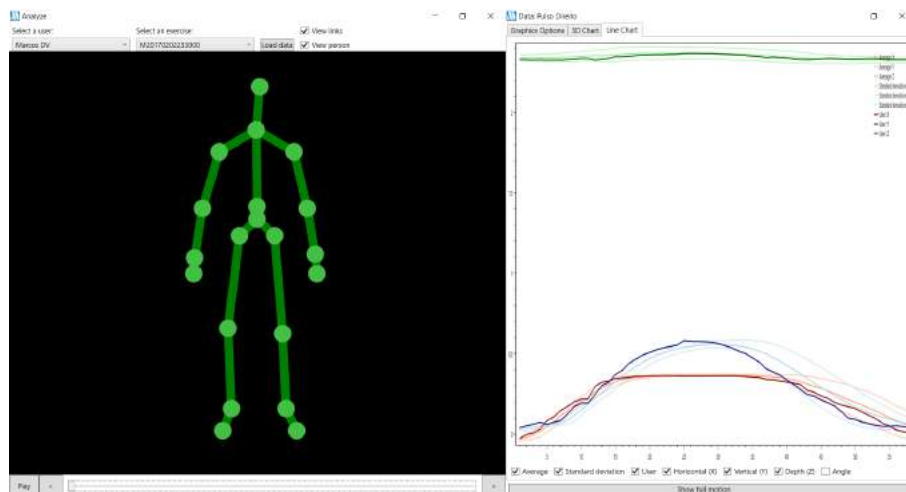


Figura 4. Análise do movimento do paciente com a movimentação e o gráfico do exercício

do usuário, com a variação do ponto na horizontal (X - linha de cor vermelho escuro contínuo), vertical (Y - linha azul contínuo), e profundidade (Z - linha verde escuro contínuo). Em destaque na Figura 5, há a linha azul (Y), a média (linha em azul claro contínuo) e desvio padrão do movimento (linha azul claro pontilhada). As cores da média e desvio padrão seguem um padrão, sempre mostrando a mesma cor da linha do movimento do usuário, porém em um tom mais claro, e a linha do desvio padrão sempre pontilhada.

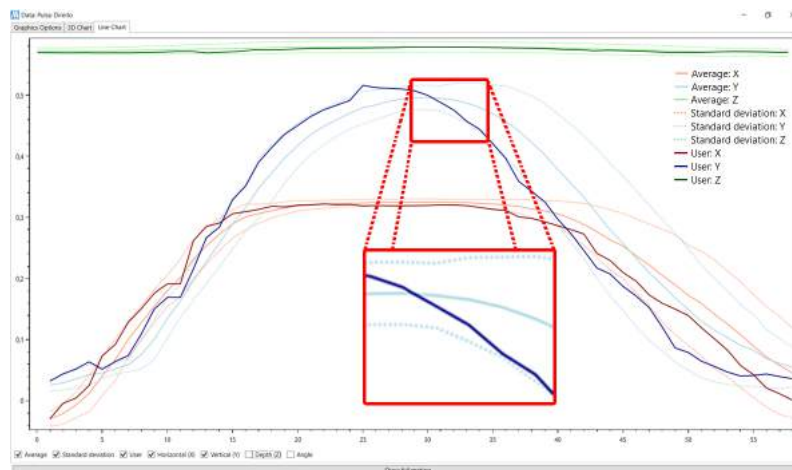


Figura 5. Gráfico do exercício com a variação X, Y e Z do pulso direito. Em destaque: A linha do paciente (Azul escuro) com a média (Azul claro) e desvio padrão (Azul claro pontilhado) do exercício

Neste gráfico, também é possível exibir a variação da angulação da articulação escolhida. O software sempre calcula e apresenta a média e desvio padrão, tanto para os três eixos de movimento do paciente (X, Y e Z), como para o gráfico da variação dos ângulos de uma articulação. Para calcular o ângulo da articulação, utiliza-se a articulação escolhida para a análise e a articulação anterior e posterior. Por exemplo, para calcular o ângulo do cotovelo, são utilizados os pontos do pulso, do cotovelo e do ombro do paciente.

O software também possui uma tela que gera gráficos em 3D com o movimento

de forma tridimensional (Figura 6). Esta tela possui dois gráficos: a Figura 6-A apresenta o movimento e sua variação realizado pelo paciente, enquanto que a Figura 6-B mostra a média gerada pela base de dados de exercícios corretos.

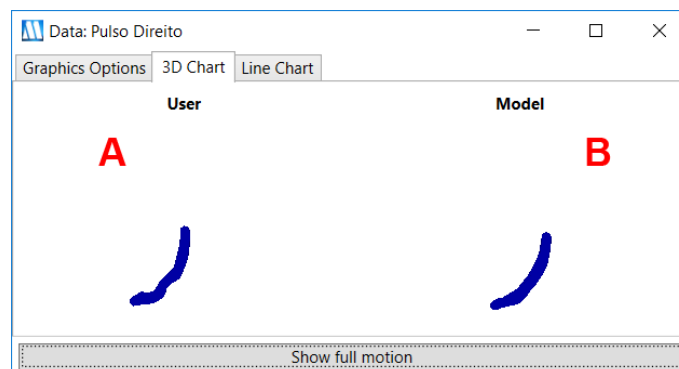


Figura 6. Tela com gráfico 3D do exercício: A- indica movimento do paciente e B- indica a média dos exercícios

O software também possui uma tela de comparação da evolução do paciente, a seleção é feita por meio de uma listagem dos movimentos já executados e salvos do paciente, a Figura 7 ilustra a seleção dos dados para iniciar a comparação. Esta tela oferece os mesmos recursos que a tela de análise tradicional (Figura 4), mas nesse caso, em vez de se comparar com a base de dados de movimentos corretos de um determinado exercício, comparam-se apenas dois exercícios do mesmo paciente, permitindo observar e comparar a variação de uma para o outro. Os gráficos gerados mostram, neste caso, a variação dos dois exercícios, tanto para a variação do ponto nos três eixos de movimento do paciente (X, Y e Z), como na variação da angulação da articulação. Para a comparação da evolução do paciente, também é possível gerar o Gráfico 3D, mostrando o movimento anterior e atual de forma tridimensional.

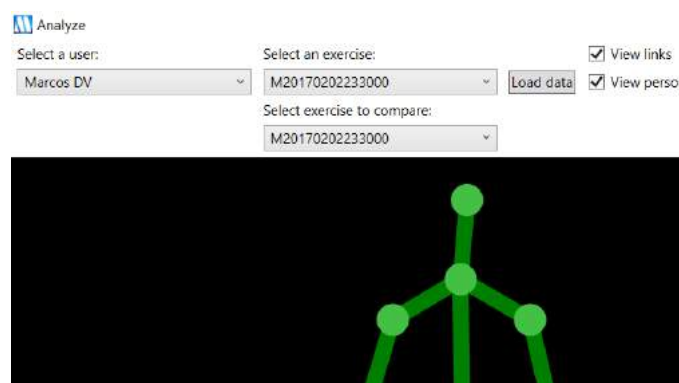


Figura 7. Tela de análise para comparar dois movimentos

5. Considerações Finais

O software desenvolvido permite que o profissional da saúde monitore e acompanhe a execução de exercícios físicos de reabilitação fisioterápica do paciente. Os exercícios são comparados com movimentos modelos disponíveis; a média e desvio padrão, para cada exercício, são gerados e apresentados na forma de gráfico para posterior análise

do profissional. Também é possível acompanhar a evolução do paciente, comparando-se dois exercícios do mesmo tipo, realizados em períodos distintos. São considerados os movimentos dos membros superiores, membros inferiores, postura e equilíbrio.

Durante o processo de comparação, são analisados os ângulos e referências das articulações. Esta característica faz com que o sistema não se limite a um conjunto específico de tipo de exercício, de modo que diferentes atividades físicas possam ser analisadas. Este é um diferencial deste trabalho em relação aos descritos na Seção 2, que se restringem a um tipo único de exercício.

Como contribuição, o software apresentado auxilia o fisioterapeuta nos tratamentos de reabilitação, fornecendo parâmetros dos exercícios realizados pelos pacientes em comparação com execuções consideradas corretas, assim como comparações entre exercícios do mesmo paciente ao longo do tratamento.

O software apresentado tem a característica de ser expandido e alterado para que seu núcleo - a captura de movimentos e comparação com movimentos modelos - seja reusado em aplicações de diversas finalidades, como em: jogos sérios para reabilitação e em ferramentas de diagnóstico automatizado.

Por ser desenvolvido em código aberto, espera-se que a disponibilização do software contribua com a redução do trabalho de grupos de pesquisa que precisem de um software de captura de movimentos e comparação para finalidades diversas, como as anteriormente citadas.

A restrição do software relaciona-se com a oclusão de membros, pois o Kinect não capta a localização dos pontos que estejam obstruídos. Como trabalhos futuros, espera-se adicionar novos exercícios previamente cadastrados, melhorar o sistema de captura, com o objetivo de diminuir os pontos de oclusão e melhorar a precisão na captura dos dados pelo Kinect.

Referências

- Balista, V. G. (2013). Sistema de realidade virtual para avaliação e reabilitação de déficit motor. *SBGames. São Paulo*, pages 16–20.
- Campos, A. (2006). O que é software livre. *BR-Linux. Florianópolis, março de*.
- Caprani, N., O'Connor, N. E., and Gurrin, C. (2012). Touch screens for the older user. In *Assistive Technologies*, pages 95–118. InTech.
- Chan, J. C., Leung, H., Tang, J. K., and Komura, T. (2011). A virtual reality dance training system using motion capture technology. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 4(2):187–195.
- Clua, E. W. G. (2014). Jogos sérios aplicados a saúde. *Journal of Health Informatics*, 6.
- Duarte, N., Postolache, O., and Scharcanski, J. (2014). Ksgphysio-kinect serious game for physiotherapy. In *Electrical and Power Engineering (EPE), 2014 International Conference and Exposition on*, pages 606–611. IEEE.
- Estepa, A., Piriz, S. S., Albornoz, E., and Martínez, C. (2016). Development of a kinect-based exergaming system for motor rehabilitation in neurological disorders. In *Journal of Physics: Conference Series*, volume 705, page 012060. IOP Publishing.

- Fernandes, F. G., Santos, S. C., de Oliveira, L. C., Rodrigues, M. L., and Vita, S. S. B. V. (2014). Realidade virtual e aumentada aplicada em reabilitação fisioterapêutica utilizando o sensor kinect e dispositivos móveis. *anais...* volume 12, pages 1–6. Universidade Federal de Uberlândia.
- Han, J., Shao, L., Xu, D., and Shotton, J. (2013). Enhanced computer vision with microsoft kinect sensor: A review. *Cybernetics, IEEE Transactions on*, 43(5):1318–1334.
- Instruments, N. (2017). O que é o labview? Online. Disponível em: <http://www.ni.com/newsletter/51141/pt>. Acesso em: 12 mar. 2017.
- Junior, V. D., Monteiro, C. B., Nakamura, R., Yojo, L. S., Araújo, L. V., and Nunes, F. L. (2013). Mover: Serious game aplicado a reabilitação motora usando sensor de movimento kinect.
- Liu, T. T., Hsieh, C. T., Chung, R. C., and Wang, Y. S. (2013). Physical rehabilitation assistant system based on kinect. In *Applied Mechanics and Materials*, volume 284, pages 1686–1690. Trans Tech Publ.
- Microsoft (2017). Kinect for windows sensor components and specifications. Online. Disponível em: <https://msdn.microsoft.com/en-us/enus/library/jj131033.aspx>. Acesso em: 28 jan. 2017.
- Mira (2016). Mira - product. Online. Disponível em: <http://www.mirarehab.com/product>. Acesso em: 12 set. 2016.
- Neuroathome (2016). Virtual reality rehabilitation. Online. Disponível em: <http://www.neuroathome.com/en/>. Acesso em: 08 dez. 2016.
- Rehabilitation, V. R. (2017). Kinect rehabilitation with biofeedback. Online. Disponível em: <http://www.virtual-reality-rehabilitation.com/>. Acesso em: 22 jan. 2017.
- Romano, R. G., Raia, F., Dias, I. R., and Assis, S. M. B. (2013). Tecnologia de games e reabilitação virtual: adaptação do software labview para captura dos dados do wii balance board. *Millenium*, (45):181–191.
- Saini, S., Rambli, D. R. A., Sulaiman, S., Zakaria, M. N., and Shukri, S. R. M. (2012). A low-cost game framework for a home-based stroke rehabilitation system. In *2012 International Conference on Computer & Information Science (ICIS)*, volume 1, pages 55–60. IEEE.
- Sousa, F. H. (2011). Uma revisão bibliográfica sobre a utilização do nintendo® wii como instrumento terapêutico e seus fatores de risco. *Revista Espaço Acadêmico*, 11(123):155–160.
- Sousa, K. A., Neto, J. F. N., Silva, É. S., and Rodrigues, M. A. F. (2016). A gesture control system to support rehabilitation exercises. In *Virtual and Augmented Reality (SVR), 2016 XVIII Symposium on*, pages 170–177. IEEE.
- Vendramini, M. D., Fernandes, A. M., and Paschoal, A. R. (2015). Serious games na saúde: aplicação de dispositivos non-touch em atividades de fisioterapia. In: *XV Workshop de Informática Médica, Recife-PE*.
- Webb, J. and Ashley, J. (2012). *Beginning Kinect Programming with the Microsoft Kinect SDK*. Apress.

Análise no Desempenho de Algoritmos de Aprendizagem Supervisionada na Classificação da Marcha em Parkinsonianos

Hugo A. Souza¹, Marcelo Costa Oliveira¹,
Leonardo Melo de Medeiros²

Instituto de Computação (IC), Universidade Federal de Alagoas (UFAL)
CEP 57500-970 – Maceió – AL - Brasil
Coordenação de Informática, Instituto Federal de Alagoas (IFAL)
CEP 57020-600 – Maceió – AL - Brasil
{hasppgi@ic.ufal.br, oliveiramc@ic.ufal.br, leonardomelomedeiros@gmail.com}

Abstract. *The gait analysis has become an attractive and non-invasive quantitative mechanism that can aid in the detection and monitoring of Parkinson's disease patients. The extraction of characteristics is a task of paramount importance for the quality of the data to be used by the algorithms of Machine Learning, aiming as main objective the reduction in the dimensionality of the data in a classification process. This work evaluates the performance of supervised learning algorithms in the classification of human gait characteristics in PD patients.*

Resumo. *A análise da marcha tornou-se um mecanismo quantitativo atrativo e não invasivo que pode auxiliar na detecção e monitoramento de portadores da Doença de Parkinson. A extração de características é uma tarefa de suma importância para a qualidade dos dados a serem empregados pelos algoritmos de Aprendizagem de Máquina, visando como principal objetivo a redução na dimensionalidade dos dados em um processo de classificação. Este trabalho avalia o desempenho de algoritmos de aprendizagem supervisionada na classificação das características da marcha humana em portadores de DP.*

1. Introdução

A Doença de Parkinson (DP) é a segunda doença neurodegenerativa mais prevalente em idosos, embora sua prevalência e incidência variem de acordo com a idade, sexo e raça/etnia [Tan 2013]. É uma doença crônica e degenerativa do sistema nervoso central, sendo caracterizada, principalmente, por distúrbios motores e disfunções posturais [Postuma 2012].

Estudos apontam que a prevalência aumenta com a idade, tendo estimativa de 5 a 26 casos a cada 100 mil pessoas por ano, sendo de aproximadamente 1% entre os indivíduos de 65 a 69 anos e, variando de 3% a 14,3% entre os idosos acima de 85 anos [Willis 2010]. Os sinais cardinais (sinais clínicos mais comuns no processo inflamatório) mais comuns na DP incluem a presença de tremor em repouso, rigidez muscular, bradicinesia e instabilidade postural. O termo bradicinesia refere-se mais especificamente à lentidão no planejamento, iniciação e execução de atos motores voluntários e automáticos, associada à dificuldade na mudança de padrões motores, comprometendo diretamente o desempenho das atividades de vida diária destes pacientes [Kim et. al 2013]. Durante a locomoção o paciente com DP apresenta

alterações hipocinéticas caracterizadas pela redução do comprimento dos passos, da velocidade e aumento do tempo de duplo apoio. Este sintoma pode ocorrer devido ao comprometimento na programação dos movimentos ou em sua execução [Stegemöller et. al 2012].

O diagnóstico de DP não é uma tarefa simples, pois sabe-se que há padrões de estágios do avanço da doença no organismo humano [Ângela, et al. 2016]. Porém, muitos pacientes não seguem esse progresso devido à heterogeneidade de manifestações que podem surgir [Postuma 2012]. Nos últimos anos, o diagnóstico da doença vem avançando graças aos investimentos realizados em pesquisas e a evolução dos aparatos computacionais. Utilizando a computação, pesquisadores estão ampliando seus conhecimentos sobre a DP, influenciados por informações cada vez mais precisas que vão desde o processamento de imagens neurológicas, detecção de modificações genéticas e análise de anomalias da marcha. A análise da marcha tornou-se um mecanismo quantitativo atrativo e não invasivo que pode auxiliar na detecção e monitoramento de portadores de DP. O diagnóstico está sendo ampliado por meio de recursos providos por áreas da computação, como a Aprendizagem de Máquina (AM) [Chang, Alban-Hidalgo and Hsu 2014], e na área de Processamento de Sinais [Daliri 2013].

A extração de características é uma tarefa de suma importância para a qualidade dos dados a serem empregados pelo algoritmo de AM, visando como principal objetivo a redução na dimensionalidade dos dados em um processo de classificação [Harrington 2012]. A partir da redução da dimensionalidade é possível identificar, principalmente, quais atributos são importantes e facilitar a visualização dos dados [Faceli 2011]. Para os dados relacionados à marcha humana, o propósito é detectar relevantes atributos que possam ajudar na identificação de fases do ciclo da marcha, como as fases de apoio e swing, cadência, comprimento da passada, velocidade, entre outras. Para tal, é preciso identificar e selecionar quais atributos são mais relevantes, assim como o método de classificação.

Visto que as técnicas de seleção de atributos já foram aplicadas em algoritmos de aprendizagem supervisionada na classificação de dados e mostraram um significativo desempenho na precisão (superior a 90%) no diagnóstico de portadores de DP. *Support Vector Machine* (SVM) [Pant and Krishnan 2014], *k-NN* [Alkhatib et al. 2015] e Redes Neurais Artificiais (RNA) [Lee and Lim 2012], já foram utilizados em pesquisas com pacientes parkinsonianos aproveitando dados da marcha disponibilizados na base Physionet. Contudo, nenhum dos trabalhos publicados aplica mais de um algoritmo de AM manipulando atributos da base Physionet.

O objetivo deste trabalho é avaliar o desempenho de algoritmos de aprendizagem supervisionada na classificação dos padrões da marcha humana, sendo extraídas características como o total da Força Vertical de Reação do Solo (VGRF) sob os pés e o *timestamp* das fases de Apoio e Swing, em uma base de dados aberta.

2. Metodologia

O processo de classificação nesta pesquisa se deu seguindo as principais etapas de trabalhos. A base de dados que serviu para este trabalho está disponível na internet através do repositório aberto chamado Physionet [Physionet 2016]. Após a aquisição da base de dados, seis etapas foram desenvolvidas para a classificação (Figura 1): (i)

Aquisição dos dados; (ii) Pré-processamento; (iii) Extração das Características; (iv) Seleção dos Atributos; (v) Aplicação dos Algoritmos de AM; e (vi) Validação.

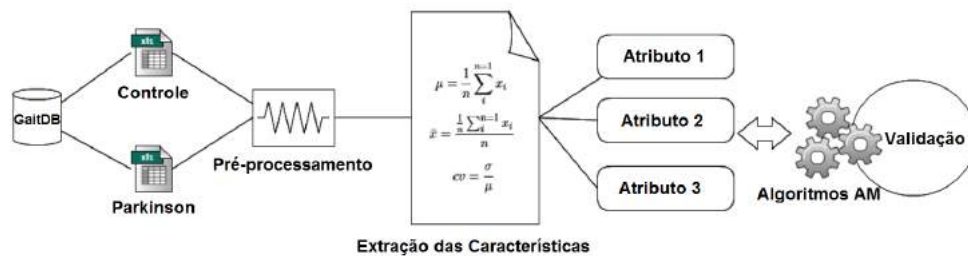


Figura 1. Etapas do processo de classificação.

A primeira etapa da classificação foi a aquisição dos dados. As amostras estão disponibilizadas no formato texto (TXT) e as variáveis estão dimensionadas por colunas. A primeira coluna de cada uma refere-se ao tempo (em segundos), e foi necessário extrair apenas uma como referência. Nas duas últimas colunas foram extraídos os dados do total da VGRF sob o pé direito e total da VGRF sob o pé esquerdo. Criadas duas planilhas eletrônicas (em formato XLS), a organização destas se deu em dois grupos: uma parkinsonianos e outra dos pacientes controle. A seleção das amostras foi restringida apenas as que possuem no mínimo 2 minutos de captura dos movimentos da perna direita e foi realizada de forma manual. Há pacientes com mais de uma amostra, mas só foi aproveitada apenas uma amostra por paciente. A partir dos critérios e passos já relatados, das 166 amostras disponíveis na base, foi reconhecido um quantitativo de 88, destes 44 são pacientes controle e 44 parkinsonianos, dentre todas por grupo de pesquisa;

Na etapa seguinte, a pré-processamento, tem como trabalho principal nesta fase foi identificar as fases do ciclo da marcha por meio das variáveis escolhidas. As características extraídas dos ciclos da marcha foram as duas fases primárias: Apoio e Swing [Chang, Alban-Hidalgo and Hsu 2014]. Relacionando os dados do tempo e o total da VRGF em cada uma das pernas foi possível realizar o reconhecimento destas fases. Com base em estudo realizado na literatura [Pant and Krishnan 2014], para detectar o momento em que o paciente manteve a perna em apoio verificou-se quando o valor da VGRF é maior do que zero e relaciona com os respectivos tempos. Já para a fase de swing verifica-se quando o valor da VGRF é igual a zero e relaciona com seus tempos;

A etapa de extração das características tem como finalidade o reconhecimento dos padrões das características foram aplicadas funções de estatística descritiva e algumas específicas de processamento de sinais para obtenção de atributos a serem usados na classificação, já abordadas por trabalhos relacionados [Alkhatib et al. 2015, Dubey, Wadhvani and Wadhvani 2013, Guyon and Elisseeff 2003], são elas:

a) Média:
$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{n=1}^i x_i \quad (2.1)$$

b) Mediana:
$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{n=1}^i x_i \quad (2.2)$$

c) Variância:
$$\sigma^2 = \frac{\sum f_i(pm_i - \bar{x})^2}{\sum f_i} \quad (2.3)$$

d) Desvio Padrão:
$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum f_i(pm_i - \bar{x})^2}{\sum f_i}} \quad (2.4)$$

e) Coeficiente de Variação:
$$cv = \frac{\sigma}{\mu} \quad (2.5)$$

f) Curtose:
$$k = \frac{\mu^4}{\sigma^4} \quad (2.6)$$

g) Obliquidade:
$$v = \frac{(x - (\mu_3))}{\sigma^3} \quad (2.7)$$

h) Interquartil:
$$iqr = q_3 - q_1 \quad (2.8)$$

Ainda, foram aproveitadas algumas funções comumente aplicadas em estudos relacionados a processamento de sinais que utilizaram a mesma base de dados [Alkhatib et al. 2015], já que melhor contemplam alterações fisiológicas do sinal eletromiográfico permitindo uma melhor análise, são elas:

i) Raiz Quadrada da Soma (RSS):
$$RSS = \sqrt{\sum_{n=1}^n xn^2} \quad (2.9)$$

Onde n é um conjunto de valores e X é um vetor [Alkhatib et al. 2015].

j) Raiz do Valor Quadrático Médio (RMS):
$$RMS = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2} \quad (2.10)$$

k) Poder de Densidade do Sinal (PDS):
$$PDS = \int_{-\infty}^{+\infty} f_x(\tau) e^{j2\pi\tau} d\tau \quad (2.11)$$

A equação da PDS é baseada na transformada de Fourier, onde τ é o tempo de observação, f é a frequência e dt é a função impulso. Já a Relação de Potência Pico-a-Média (RPP) nada mais é que a relação entre picos dos sinais sobre RMS.

l) Relação de Potência Pico-a-Média (RPP):
$$RPP = \frac{|x|_{peak}^2}{x_{rms}^2} \quad (2.12)$$

Dois funções geralmente usadas para analisar a potência espectral do sinal foram utilizadas. Sendo P_i a i -ésima linha do espectro da potência e M é o comprimento

da frequência (essas duas variáveis fornecem algumas informações básicas sobre o espectro o sinal e suas mudanças em função do tempo):

$$\begin{array}{l} \text{m) Média} \\ \text{Frequência} \\ \text{Sinal (MNF):} \end{array} \begin{array}{l} \text{da} \\ \text{do} \end{array} \quad MNF = \frac{\sum_{i=1}^M f_i P_i}{\sum_{i=1}^M P_i} \quad (2.13)$$

$$\begin{array}{l} \text{n) Mediana} \\ \text{Frequência} \\ \text{Sinal (MDF):} \end{array} \begin{array}{l} \text{da} \\ \text{do} \end{array} \quad \sum_{i=1}^{MDF} P_i = \sum_{i=MDF}^M P_i = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^M P_i \quad (2.14)$$

Reconhecida a necessidade de selecionar atributos mais importantes no contexto dos tipos de características extraídas e a possibilidade de eliminar possíveis redundâncias foi empregada uma técnica específica de FS. A técnica escolhida foi a *Wrapper* por ser de fácil entendimento e aplicação. Por meio da *Wrapper* é possível avaliar atributos multivariados com o método *Forward/Backward*. Ao aplicar esse método sob um conjunto vazio são adicionados atributos progressivamente originando subconjuntos, obtendo e avaliando um índice de desempenho para classificação [Guyon and Elisseeff 2003].

Segundo [Guyon and Elisseeff 2003], para *k-NN* a seleção mais adequada é a *Forward*. Neste trabalho o método foi usado da seguinte forma, sendo *n* a quantidade de tipos de atributos, e levando em conta que no trabalho foram extraídos 14 tipos diferentes, a seleção foi gradativamente aplicando os atributos ao algoritmo *k-NN*. Lembrando que a seleção foi por subconjunto de atributos por perna sob grupos de parkinsonianos e controle. Para Árvores de Decisão os atributos também foram selecionados desta forma visto que houve sucesso no uso [Zhang et al. 2014]. Para os algoritmos SVM e RNA foi aplicado de forma *Backward*, conforme recomendação de [Guyon and Elisseeff 2003]. A partir de *n*, que representa a quantidade de tipos de atributos a seleção, foi reduzindo os atributos de 14 para apenas um. Sempre aplicando aos algoritmos de classificação e os validando em seguida. Os algoritmos de Aprendizagem Supervisionada presentes na pesquisa formam um total de quatro e as implementações estiveram de acordo com as principais referências encontradas. Por dez vezes os seguintes algoritmos foram aplicados: *k-NN*; Árvore de Decisão; RNA; e SVM;

A técnica *holdout* foi uma das aplicadas neste trabalho na fase de validação. Esse método se mostrou o mais simples de ser empregado e, conforme visto na literatura [Faceli 2011], pouco apresenta problemas tanto em grande quantidade de dados tampouco em menores. Segundo [Faceli 2011], nesse método o recomendado é reservar um subconjunto de 1/3 para validação e o restante 2/3 para treinamento. Outra técnica foi a *k-fold*, na qual foi aplicado em uma proporção de dez subconjuntos de dados (*10-fold*) mutuamente exclusivos. A partir disto, um subconjunto é usado para teste e os *k-1* restantes são para estimação dos parâmetros. Este processo foi realizado o número de vezes da quantidade de subconjuntos distintos, ou seja, dez vezes alternando de forma circular o subconjunto de teste.

Mais uma utilizada foi a validação *leave-one-out*, que nada mais é que um caso específico do *k-fold*, com *k* igual ao número total de dados *n*. Ao obter a matriz de confusão, foi possível calcular as seguintes medidas de desempenho: precisão, sensibilidade, especificidade e acurácia. A matriz é de extrema relevância ao trabalho,

pois com a sensibilidade permitiu avaliar a classificação correta dos doentes e a especificidade permitiu avaliar a classificação correta dos sadios.

Tendo os resultados das classificações realizadas das fases Apoio e Swing em um das pernas e das duas pernas com cada algoritmo sob as três validações foram obtidas as médias e AUC da acurácia. Também, a partir da geração da sensibilidade e especificidade foram criadas as curvas ROC a fim de demonstrar visualmente uma comparação do desempenho dos classificadores.

3. Resultados e discussão

Na classificação realizada sob os dados da perna direita na fase Apoio o algoritmo que melhor classificou foi a SVM sob a validação *k-fold*, quando alcançou 95,45% na acurácia e 97,77% de precisão (Tabela 1). O bom desempenho com a SVM nessa classificação foi devido ao processo de indução com base nos dados de treinamento, na qual é constituída pelo princípio de minimização do risco empírico, ou seja, a minimização do erro no treinamento. Entretanto, a minimização do risco empírico nem sempre ocorre, principalmente em conjuntos de dados menores [Faceli 2011].

Um algoritmo com desempenho semelhante foi o *k-NN* quando alcançou 95,45% em acurácia e 93,62% na precisão. A acurácia teve o mesmo resultado com a SVM, mas a precisão foi 4,15% menor (Tabela 1). Contudo, usando a validação *holdout* foi algoritmo que teve a pior acurácia com 31,82%. Ademais, outro algoritmo que obteve bom desempenho na classificação da fase Apoio sob a perna direita utilizando a técnica de validação *k-fold* foi a RNA. A acurácia foi apenas 1,14% inferior, resultou em 94,31%, e a precisão foi igual, 97,77%.

Tabela 1. Resultado dos algoritmos na classificação da fase Apoio e Swing da perna direita por validações (a) *holdout*, (b) *k-fold* e (c) *leave-one-out*.

Ciclo	Algoritmo		Precisão	Sensibilidade	Especificidade	Acurácia
Apoio	k-NN	(a)	48,39%	53,57%	44,83%	31,82%
		(b)	93,62%	52,39%	93,02%	95,45%
		(c)	86,67%	51,32%	86,05%	86,36%
	Árvore Decisão	(a)	38,71%	37,50%	51,28%	36,36%
		(b)	79,45%	50,72%	79,06%	78,40%
		(c)	77,78%	50,72%	77,27%	78,41%
	RNA	(a)	90,32%	50,91%	90,00%	62,50%
		(b)	97,77%	53,01%	97,50%	94,31%
		(c)	95,56%	51,81%	95,24%	94,32%
	SVM	(a)	74,19%	45,10%	77,78%	57,95%
		(b)	97,77%	52,38%	95,25%	95,45%
		(c)	91,11%	51,90%	90,48%	89,77%

A Árvore de Decisão foi o classificador que apresentou menor precisão com 38,71% sob validação da técnica *holdout*, por conseguinte 59,06% menor do que a obtida pelo algoritmo SVM sob validação *k-fold* (Tabela 1). Não há trabalhos relacionados à base que aplicaram esse algoritmo. O resultado na classificação da classe

Parkinson com a Árvore de Decisão sob validação *holdout* teve 36,36% de acurácia, inferior se comparado aos demais algoritmos.

Para esse desempenho baixo com a Árvore de Decisão em relação aos demais se deve a um problema denominado *underfitting*. Esse problema pode acontecer quando o conjunto de treinamento é pequeno e não é significativo, ou seja, não apresenta casos que futuramente serão exercitados. Como é o caso do treinamento dos algoritmos com a técnica de validação *holdout*. Ainda, pode ocorrer também instabilidades devido a ruídos na base, produzindo grandes variações no resultado final. Também, pode acontecer que dois ou mais atributos em nós sejam classificados de forma similar e pequenas variações podem alterar o resultado, modificando todas as subárvores [Faceli 2011].

A RNA e a SVM apresentaram uma maior tendência a identificar pacientes Controle, já que a maioria dos resultados da especificidade na classificação com esses algoritmos foi maior que 90,00% (Tabela 1). Em trabalho publicado por [Kim et al. 2013] relata sobre a dificuldade dos pacientes no equilíbrio, comprimento do passo reduzido e tremor até em membros inferiores. Esses sintomas podem ser apresentados na captura dos dados e gerar, por exemplo, *timestamp* com padrão diferente (ou não) para os pacientes parkinsonianos. Apesar de serem fatores que influenciam na geração de dados que podem identificar as duas classes (Parkinson e Controle), há algoritmos de aprendizagem supervisionada que não conseguem distinguir instâncias (um ou mais atributos) de cada classe.

Diferente da fase Apoio, todos os algoritmos apresentaram desempenho tanto na acurácia como na precisão superiores a 60,00% para a fase Swing da perna direita. Dois classificadores alcançaram 100% de precisão: Árvore de Decisão e SVM. O *k-NN* sob duas diferentes validações (*k-fold* e *leave-one-out*) obteve uma considerável acurácia em 97,73% (Tabela 2). Ainda, todos os classificadores apresentaram um desempenho melhor também na classificação de pacientes Controle, a exemplo da Árvore de Decisão e a SVM que alcançaram 100% de especificidade.

Tabela 2. Resultado dos algoritmos na classificação da fase Swing da perna direita por validações (a) *holdout*, (b) *k-fold* e (c) *leave-one-out*.

Ciclo	Algoritmo		Precisão	Sensibilidade	Especificidade	Acurácia
Swing	k-NN	(a)	93,54%	49,15%	93,75%	95,16%
		(b)	95,56%	50,00%	95,56%	97,73%
		(c)	95,56%	50,00%	95,56%	97,73%
	Árvore Decisão	(a)	100%	50,82%	100%	69,32%
		(b)	93,33%	49,41%	93,48%	96,59%
		(c)	93,33%	49,41%	93,48%	96,59%
	RNA	(a)	96,77%	50,85%	96,67%	67,05%
		(b)	95,56%	50,00%	95,56%	97,73%
		(c)	91,30%	51,85%	90,69%	94,31%
	SVM	(a)	100%	56,36%	100%	62,50%
		(b)	97,78%	53,01%	97,50%	94,32%
		(c)	97,78%	53,66%	97,44%	93,18%

Na avaliação de desempenho dos algoritmos na classificação com dados extraídos das fases de Apoio e Swing em apenas um das pernas dos pacientes foi utilizada também a curva ROC. O *k-NN* foi o algoritmo que obteve melhor AUC com 0,789 ($\sigma = 0,248$), conforme pode ser visto na Tabela 3.

Tabela 3. Desempenho na classificação das fases Apoio e Swing da perna direita com AUC e σ de cada algoritmo.

AUC	
k-NN	0,789 \pm 0,248
Árvore Decisão	0,677 \pm 0,222
RNA	0,522 \pm 0,161
SVM	0,667 \pm 0,162

Resultado superior ao obtido por [Alkhatib et al. 2015] que classificaram pisadas dos paciente aplicando esse mesmo classificador sob dados de uma perna extraídos da Physionet e, o desempenho sendo avaliado pela curva ROC alcançou AUC igual a 0,611. Esse resultado se deu com a soma das variáveis dos oito sensores implantados nos pés dos pacientes, e não apenas nos totais da VGRF utilizadas neste trabalho. Quando a curva ROC foi aplicada a Árvore de Decisão e a SVM, os valores da AUC foram respectivamente 0,677 ($\sigma = 0,222$) e 0,667 ($\sigma = 0,162$).

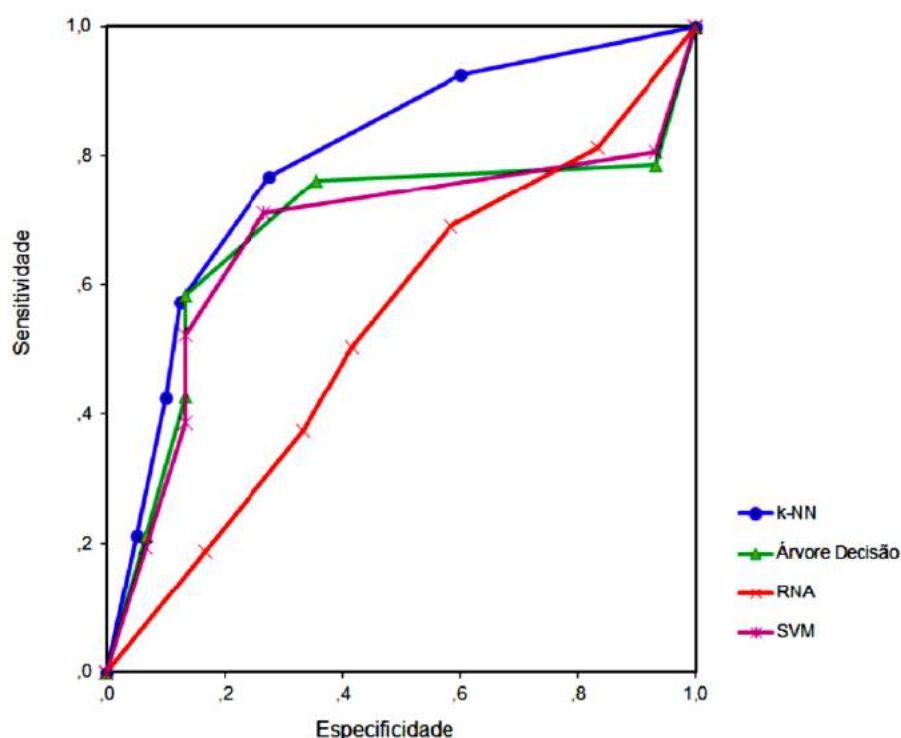


Figura 2. Avaliação desempenho dos algoritmos de aprendizagem supervisionada por meio da curva ROC na classificação das fases Apoio e Swing da perna direita.

Esses resultados foram inferiores ao alcançado por [Kamath 2015] quando classificou os dados das passadas de parkinsonianos (extraídos da Physionet). O autor

aplicou entropia para classificar dados da perna direita e, na avaliação com a curva ROC, obteve AUC máxima de 0,885. Vale ressaltar que [Kamath, 2015] teve um maior conjunto de dados, pois usou de todos os sensores implantados nos pacientes que estão disponíveis na base Physionet. A RNA obteve um desempenho inferior entre todos nessa classificação com AUC igual a 0,522 ($\sigma = 0,159$).

4. Conclusão

Este trabalho apresentou atributos que foram extraídos das fases de Apoio e Swing em portadores de DP e Controle, na qual podem influenciar no desempenho de algoritmos de aprendizagem supervisionada utilizados como classificadores. Com isso, buscou-se alcançar melhores resultados do que os que já foram alcançados em trabalhos relacionados. A SVM sob validação *k-fold*, foi o classificador que obteve melhor desempenho na fase Apoio sob a perna direita com 97,77% de precisão. Já para a fase Swing, a maior precisão foi com os classificadores Árvores de Decisão e SVM quando alcançaram 100% ambos sob validação *holdout*.

Embora a precisão na classificação dos dados tenha alcançado 100% com os algoritmos de aprendizagem supervisionada acredita-se que é possível aumentar os percentuais de sensibilidade, assim como também identificar mais características da marcha com a inserção de dois fatores que não foram utilizados nesta pesquisa: o aproveitamento de todas as variáveis extraídas dos sensores; e uso de todas as amostras disponíveis. Faz-se necessário também um estudo mais amplo sobre outras técnicas de seleção de atributos, como *Embedded* e *Filter*, e mais algoritmos de AM. Com isso, espera-se que através dos resultados de mais classificadores sob mais atributos, analisado pelas respectivas técnicas de seleção, possa determinar resultados ainda melhores.

Referências

- Alkhatib, R., Diab, M., Moslem, B., Corbier, C., El Badaoui, M. (2015). Gait-Ground Reaction Force Sensors Selection Based on ROC Curve Evaluation. *Journal of Computer and Communications*, 3(03), 13.
- Chang, D., Alban-Hidalgo, M., Hsu, K. (2014). Diagnosing parkinson's disease from gait. *Stanford*.
- Daliri, M. R. (2013). Chi-square distance kernel of the gaits for the diagnosis of Parkinson's disease. *Biomedical Signal Processing and Control*, 8(1), 66-70.
- Dasgupta, H. (2015). An algorithm for stance and swing phase detection of human gait cycle. In *Electronics and Communication Systems (ICECS), 2015 2nd International Conference*, pages 447-450.
- Dubey, M., Wadhwani, A. K., Wadhwani, S. (2013). Gait Based Vertical Ground Reaction Force Analysis for Parkinson's Disease Diagnosis Using Self Organizing Map. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, 1(6), 624-636.
- Faceli, K., Lorena, A. C., Gama, J., Carvalho, A. C. P. L. F. (2011). *Inteligência Artificial: Uma abordagem de aprendizado de máquina*. Rio de Janeiro: LTC, 2, 192.

- Fernandes, Â., Mendes, A., Rocha, N., & Tavares, J. M. R. (2016). Cognitive predictors of balance in Parkinson's disease. *Somatosensory & motor research*, 33(2), 67-71.
- Geman, O., Ungurean, I., Popa, V., Turcu, C. O. and Găitan, N. C. (2012). Gait in Parkinson's Disease-signal processing and modeling. In 11th International Conference on development and application system, Suceava, Romania.
- Guyon, I.; elisseeff, A. (2013). An introduction to variable and feature selection. *Journal of machine learning research*, 3, pages 1157–1182.
- Harrington, P. (2012). *Machine learning in action* (Vol. 5). Greenwich, CT: Manning.
- Kamath, C. (2015). A Novel Approach to Unravel Gait Dynamics Using Symbolic Analysis. *Open Access Library Journal*, 2(05), 1.
- Kim, S. D., Allen, N. E., Canning, C. G., Fung, V. S. (2013). Postural instability in patients with Parkinson's disease. *CNS drugs*, 27(2), 97-112.
- Lee, S. H., Lim, J. S. (2012). Parkinson's disease classification using gait characteristics and wavelet-based feature extraction. *Expert Systems with Applications*, 39(8), 7338-7344.
- Pant, J. K., Krishnan, S. (2014). Foot gait time series estimation based on support vector machine. In Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2014 36th Annual International Conference of the IEEE, pages 6410-6413.
- Physionet (2016). "Gait in Parkinson's Disease". Homepage disponível em: <<https://physionet.org/physiobank/database/gaitpdb/>>, Março.
- Postuma, R. B. (2012). Identifying prodromal parkinson's disease: Pre-motor disorders in parkinson's disease. *Movement Disorders*. Wiley Online Library, 27(5): 617–626.
- Salvatore, C., Cerasa, A., Castiglioni, I., Gallivanone, F., Augimeri, A., Lopez, M. and Quattrone, A. (2014). Machine learning on brain MRI data for differential diagnosis of Parkinson's disease and Progressive Supranuclear Palsy. *Journal of Neuroscience Methods*, 222, 230-237.
- Stegemöller, E. L., Buckley, T. A., Pitsikoulis, C., Barthelemy, E., Roemmich, R., Hass, C. J. (2012). Postural instability and gait impairment during obstacle crossing in Parkinson's disease. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 93(4), 703-709.
- Tan, L. C (2013). Epidemiology of parkinson's disease. *Neurology Asia*, 18(3): 231–238.
- Willis, A. W. (2010). Geographic and ethnic variation in parkinson disease: a population-based study of us medicare beneficiaries. *Neuroepidemiology*. Karger Publishers, 34(3): 143–151.
- Zaknich, A. (2006). *Principles of adaptive filters and self-learning systems*. Springer Science & Business Media.
- Zhang, Y., Wang, S., Phillips, P., & Ji, G. (2014). Binary PSO with mutation operator for feature selection using decision tree applied to spam detection. *Knowledge-Based Systems*, 64, 22-31.

Avaliação automática de versões oculares em imagens

Jullyana Fialho Pinheiro¹, João Dallyson Sousa de Almeida¹, Jorge Antonio Meireles Teixeira¹, Geraldo Braz Junior¹

¹Núcleo de Computação Aplicada (NCA)-Universidade Federal do Maranhão, Av. dos Portugueses, 1966 - Vila Bacanga, São Luís - MA, 65065-545, Brazil

{jullyanafialho92, jdallyson, jorgemeireles1, ge.braz}@gmail.com

Abstract. *A vision that comply with the basic visual demands, such as short, long, and lateral vision, needs that ocular muscles work perfectly. People with defective ocular muscles may have several problems including strabismus. This paper presents a method to automate the examination of ocular versions based on images of the patient's face.*

Resumo. *Uma visão que atenda as demandas visuais básicas como visão a curta e longa distância, visão lateral, entre outras necessita do funcionamento satisfatório dos músculos oculares. Pessoas que possuam algum problema em um dos músculos oculares podem apresentar problemas como o estrabismo. Este trabalho apresenta um método automático para realizar o exame de medida das versões oculares por meio de imagens da face do paciente.*

1. Introdução

Para se obter uma visão que atenda as diversas necessidades visuais (como visão a curta e longa distância, entre outras) é imprescindível o funcionamento de forma eficiente dos músculos oculares [Bicas 2003].

O exame de versão permite a análise desses músculos através da avaliação das posições diagnósticas, estas posições tem como objetivo avaliar o funcionamento dos músculos oculares, são eles: reto superior, reto medial, reto inferior, reto lateral, oblíquo superior e oblíquo inferior.

Geralmente o exame é realizado pelos especialistas de forma subjetiva. Um diagnóstico automatizado visa prover ao oftalmologista um suporte a mais no diagnóstico dos desvios que podem ser apresentados pelos músculos oculares. Assim, este artigo tem como objetivo apresentar um método baseado em imagens para automatizar o exame de versões oculares.

2. Materiais e Métodos

O método proposto é formado por 5 etapas: (1) aquisição de imagens e pré-processamento, (2) detecção de olho, (3) localização da pupila, (4) obtenção do formato do olho e (5) medida das versões. A Figura 1 mostra o fluxograma que representa o método.

2.1. Aquisição e Pré-processamento

O método será avaliado em uma base formada por imagens de pacientes obtidas no consultório médico, com o paciente sentado, por meio de um *smartphone* equipado com

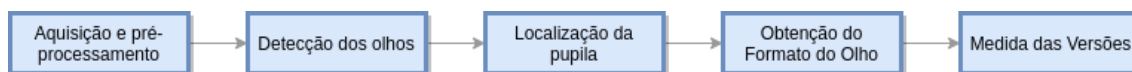


Figura 1. Metodologia proposta.

câmera digital de 16 *Megapixels* com a função flash desligada e um zoom de 3x e resolução de 1280 x 960. Apenas a área do rosto referente aos olhos é fotografada. Para tratar problemas referentes a variação de iluminação, a imagem adquirida é pré processada utilizando o algoritmo *Color Badger* [Banić and Lončarić 2014].

2.2. Detecção de olhos

Para encontrar os olhos utiliza-se o método apresentado na Figura 2. A região da pele é segmentada (Figura 2c) com o uso do Mapa de Distância de Cor (CDM) [Abdullah-Al-Wadud and Chae 2008], que separa os *pixels* em pele e não-pele. O maior segmento de pele é obtido gerando uma máscara (Figura 2d). A Figura 2c é subtraída da Figura 2d gerando Figura 2e. Os conjuntos remanescentes são os candidatos a olho. Esses conjuntos tem suas características extraídas pelo HOG (Histograma de gradientes orientados) [Banerji et al. 2013] e em seguida, são classificados utilizando o classificador *Random Forest* [Breiman 2001].

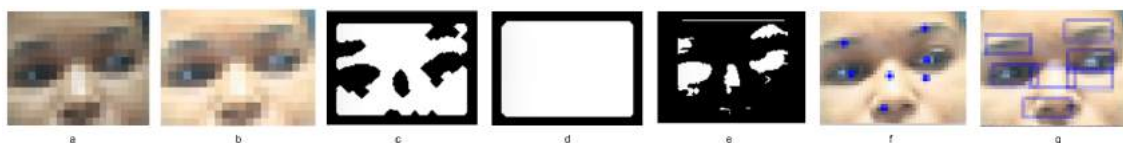


Figura 2. Detecção dos olhos.

A base de imagens de olhos e não olhos (outras regiões da face) utilizadas pelo classificador no treinamento foi obtida em [De Almeida et al. 2015]. Com os olhos localizados as próximas etapas são executadas nas regiões referentes aos olhos (Figura 2g).

2.3. Localização da pupila

A localização da pupila é realizada em imagens com o modelo de cor HSV. O modelo foi utilizado pois em seus canais S, a região da pupila apresenta valores mais altos quando comparado com seus vizinhos [Zheng et al. 2005]. Logo, se torna possível realizar a localização do ponto central da pupila ao se encontrar esses valores.

Esse ponto é encontrado na realização da binarização da imagem considerando 255 se $f(x,y)$ maior ou igual a 240 e 0 caso contrário. Na imagem binarizada aplica-se uma projeção integral vertical e horizontal, os picos de ambas as projeções são utilizados para a formação das coordenadas da pupila. Na ausência de flash na obtenção das imagens, o canal H pode ser utilizado.

2.4. Obtenção do Formato do Olho

A obtenção do formato é executada para que os limites de movimentação dos olhos para a realização da versão sejam obtidos. O método utiliza o canal H do modelo HSV que apresenta baixa intensidade nos *pixels* referentes aos olhos.

Nesta imagem é aplicada uma binarização utilizando o limiar de 50 *pixels*. Com o elemento resultante, o seguinte conjunto de pontos são encontrados: pontos laterais mais distantes, ponto médio entre pontos laterais, os pontos com maior diferença de intensidade na vertical superior e inferior referentes ao centro da pupila. Exemplos desses pontos são mostrados na Figura 3a. Com esses pontos é possível obter o formato dos olhos através da função *spline*. A Figura 3b mostra um exemplo da aplicação do método.



Figura 3. (a) Pontos obtidos com base no formato da imagem binarizada. (b) Resultado do uso da função Spline para formação do contorno dos olhos.

2.5. Medida das Versões

As versões são realizadas para a verificação do funcionamento de seis músculos oculares, este artigo apresenta a avaliação da movimentação de dois destes músculos: reto lateral e medial. Para realização deste teste utilizam-se três imagens, uma com o olhar frontal, uma com o olhar direcionado para a direita e outra para a esquerda, Figura 4.

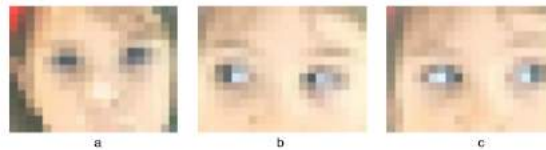


Figura 4. Imagens de exame de versão dos músculos reto lateral e medial.

A medida da versão é obtida através das checagens das seguintes medidas entre os dois olhos: raio da íris, a localização da íris em relação ao ponto médio do olho e discrepância nas distâncias entre o canto do olho verificado (direito ou esquerdo) e a íris. Elas são mostradas na Figura 5 nas cores azul, verde e vermelho respectivamente. A continuação deste trabalho visa classificar a intensidade dos desvios para que o diagnóstico possa auxiliar o planejamento cirúrgico realizado pelo médico.



Figura 5. Métricas de desvio nos músculos: reto lateral e reto medial.

3. Resultados

Alguns experimentos foram realizados a fim de avaliar a qualidade dos métodos apresentados. A base de dados utilizada é composta por 35 imagens da face de 5 indivíduos, sendo 7 imagens de cada paciente. Das quais, seis correspondem ao testes do exame e uma delas é uma imagem frontal do paciente.

A localização dos olhos foi avaliada em duas partes: (1) a localização de todos os candidatos a olhos para serem classificados e (2) o resultado da classificação.

Todos os olhos foram localizados e tiveram suas características extraídas. Para validar a classificação dos candidatos a olhos utilizou-se a base de imagens de [De Almeida et al. 2015], por possuir um volume maior de imagens de face (225 imagens), obtendo acurácia de 98,08%. Já na base de pacientes de versão (Seção 2.1) obtivemos acurácia de 95,95% com 96% de precisão e 96% de especificidade utilizando o modelo treinado com imagens utilizadas na validação.

A obtenção do formato do olho e da localização da pupila tiveram sua eficácia avaliada com base em imagens segmentadas da esclera e da pupila dos olhos respectivamente. Resultados que obtiveram uma área semelhante de segmentação maior que 90% foram consideradas corretas. A acurácia para essa etapa foi de 94,35%.

As versões tiveram sua eficácia avaliada pela similaridade entre o resultado do especialista e a encontrada pelo método. Das imagens (10) analisadas apenas um olho apresentou erro, com a discrepância de 1 ponto para o médico. As demais obtiveram o mesmo resultado do médico. A acurácia foi de 95%, medida em 20 olhos analisados.

4. Conclusão

Os resultados obtidos apresentam uma perspectiva favorável do método, porém a necessidade de se obter medidas de alta precisão para a correta realização do exame da versão impõe a extensão da base apresentada neste artigo. Com um aumento não só do número de imagens, mas também nos exemplos onde o paciente possui desalinhamento ocular que possa ser quantificado.

As próximas etapas a serem realizadas serão o aumento do número de imagens de exame de versão, a inserção na base de pacientes com desvios nos músculos reto lateral e reto medial e a realização da verificação e medida de desvios para o restante dos músculos. Os autores agradecem a FAPEMA/CAPES e CNPq pelo apoio.

Referências

- Abdullah-Al-Wadud, M. and Chae, O. (2008). Skin segmentation using color distance map and water-flow property. In *2008 The Fourth International Conference on Information Assurance and Security*, pages 83–88.
- Banerji, S., Sinha, A., and Liu, C. (2013). Haarhog: Improving the hog descriptor for image classification. In *2013 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, pages 4276–4281.
- Banić, N. and Lončarić, S. (2014). *Color Badger: A Novel Retinex-Based Local Tone Mapping Operator*, pages 400–408. Springer International Publishing, Cham.
- Bicas, H. E. A. (2003). Oculomotricidade e seus fundamentos. *Arquivos Brasileiros de Oftalmologia*, 66:687 – 700.
- Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine Learning*, 45(1):5–32.
- De Almeida, J. D. S., Silva, A. C., Teixeira, J. A. M., Paiva, A. C., and Gattass, M. (2015). Computer-aided methodology for syndromic strabismus diagnosis. *Journal of digital imaging*, 28(4):462–473.
- Zheng, Z., Yang, J., and Yang, L. (2005). A robust method for eye features extraction on color image. *Pattern Recognition Letters*, 26(14):2252 – 2261.

Diagnóstico de Glaucoma em Imagens de Fundo de Olho utilizando os Índices de Diversidade de *Shannon* e *McIntosh*

José Denes L. Araújo¹, Anselmo C. de Paiva¹, João D. S. de Almeida¹, Otilio Paulo. S. Neto¹, Jefferson A. de Sousa¹, Aristófanés C. Silva¹, Geraldo Braz Júnior¹

¹Núcleo de Computação Aplicada – Universidade Federal do Maranhão (UFMA)

{josedenes17,alves.jefferson27}@gmail.com, paiva@deinf.ufma.br

otilio.paulo@ifpi.edu.br,{joao.dallyson, geraldo.braz}@ufma.br

ari@dee.ufma.br

Abstract. *Glaucoma is an asymptomatic ocular disease in the early stages that if left untreated can lead to blindness. In most cases it causes an increase in pressure inside the eye (intraocular pressure) causing damage to the optic nerve. The use of image processing techniques for analysis of the fundus of the eye helps experts in the diagnosis of glaucoma, thus preventing vision loss. In this work we propose a method for diagnosis of glaucoma in fundus images using the Shannon and McIntosh diversity indexes as descriptors of texture patterns and support vector machine (SVM) for classification. The application of the Shannon and McIntosh indexes as the texture descriptors proved to be effective, reaching a mean accuracy of 88,35%, a mean sensitivity of 84,50% and a mean specificity of 91,37%.*

Resumo. *O glaucoma é uma doença ocular assintomática nos estágios iniciais que se não tratada pode levar a cegueira. Na maioria dos casos provoca um aumento da pressão dentro do olho (pressão intraocular) causando lesões no nervo óptico. O uso de técnicas de processamento de imagens para a análise de imagens do fundo do olho auxiliam os especialistas no diagnóstico do glaucoma, prevenindo assim a perda de visão. Neste trabalho é proposto um método para diagnóstico do glaucoma em imagens de fundo de olho utilizando os índices de diversidade de Shannon e McIntosh como descritores dos padrões de textura e support vector machine (SVM) para classificação. A aplicação dos índices de Shannon e McIntosh como descritores de textura mostrou-se eficaz alcançando como melhor resultado uma acurácia média de 88,35%, uma sensibilidade média de 84,50% e uma especificidade média de 91,37%.*

1. Introdução

O glaucoma é uma doença ocular que provoca lesão no nervo óptico e estreitamento sucessivo do campo visual dos pacientes afetados. Uma das causas do glaucoma é a obstrução do escoamento de um líquido, chamado humor aquoso, que existe dentro do olho, causando assim aumento da pressão intraocular. É assintomático nas fases iniciais. O paciente percebe os sintomas apenas em fase avançada quando ocorre a perda irreversível do campo visual e, se não for tratada pode, levar a cegueira [CBO 2017].

Atualmente é a segunda maior causa de cegueira no mundo [WGA 2017]. Estima-se que 2 a 3% da população brasileira acima de 40 anos possam ter a doença [CBO 2017].

Seu diagnóstico é baseado principalmente no histórico médico do paciente, aferição da pressão intraocular, teste de perda do campo visual e avaliação manual do disco óptico através de oftalmoscopia ou imagens de fundo de olho [Lin et al. 2007].

O glaucoma causa alterações morfológicas típicas da cabeça do nervo óptico (disco óptico) e camada de fibras nervosas que podem ser verificadas para auxiliar no diagnóstico. Essas alterações ocorrem no formato e tamanho do disco óptico e escavação, área e configuração do anel neural, configuração dos vasos sanguíneos no disco óptico e atrofia na região peripapilar [SBG 2009].

O exame de imagem do fundo de olho é um meio não invasivo, de baixo custo e pode ser usado para diagnosticar diferentes anormalidades oculares como o glaucoma. A análise de imagens digitais do fundo do olho, baseada em técnicas computacionais, é importante na avaliação do desenvolvimento natural da doença [Faust et al. 2012].

O objetivo deste trabalho é propor um novo método capaz de auxiliar especialistas na realização do diagnóstico do glaucoma em imagens de fundo de olho. O método está organizado em três etapas: pré-processamento, extração de características e classificação. O pré-processamento das imagens é realizado utilizando-se o algoritmo *retinex* [Banić and Lončarić 2013], separação dos canais da imagem, equalização de histograma, quantização e segmentação do disco óptico utilizando uma marcação fornecida pela base de imagens. Para a extração de características realiza-se a divisão espacial do disco óptico e a aplicação dos índices de diversidade de *Shannon* [Shannon 1949] e *McIntosh* [McIntosh 1967] a cada sub-região gerada. Por fim, realiza-se a classificação utilizando SVM.

O restante deste artigo está organizado da seguinte forma. Na Seção 2, são apresentados os trabalhos relacionados ao tema da pesquisa. Na Seção 3, são descritos os materiais e os métodos utilizados neste trabalho. Na Seção 4, são apresentados os resultados obtidos, as discussões sobre esses resultados e um estudo comparativo com outros trabalhos equivalentes ao nosso. Finalizando, na Seção 5 são apresentados as conclusões da pesquisa e os trabalhos futuros em andamento ou a realizar.

2. Trabalhos Relacionados

Na literatura existem vários trabalhos relacionados ao problema de diagnóstico de glaucoma utilizando características de textura. A seguir serão apresentados alguns desses trabalhos.

Acharya et al. (2014) propuseram uma metodologia onde a transformada de Gabor é aplicada sobre as imagens e características são extraídas dos coeficientes gerados pela transformada. O número de características é reduzido utilizando *Principal Component Analysis* (PCA). A classificação é realizada utilizando SVM e *Naive Bayesian* obtendo-se 93,1% de acurácia, 89,75% de sensibilidade e 96,2% de especificidade.

Já Gajbhiye e Kamthane (2015) propuseram uma metodologia para detecção de glaucoma utilizando transformada de *wavelet* para decomposição da imagem e *higher order moments* para cálculo das características. São utilizados os classificadores SVM, *k-Nearest Neighbors* (KNN) e *Error Back-Propagation Training Algorithm* (EBPTA). A metodologia alcança uma acurácia de 86,57%.

Na metodologia proposta por Haleem et al. (2015) é utilizada a transformada de *wavelet* aplicada de forma regional no disco óptico. As imagens são divididas em quatro

quadrantes seguindo a regra ISNT (Inferior, Superior, Nasal e Temporal) e para cada região é calculada a energia *wavelet* através de diferentes sub-bandas usando diferentes famílias *wavelet*. A metodologia alcança uma taxa de acerto de 92,95%.

O método proposto por Salam et al. (2016) é baseada em um conjunto híbrido de características. São extraídas dois tipos de características: estruturais (razão entre disco e escavação), onde é necessária a segmentação do disco óptico e da escavação; e não estruturais (textura e intensidade). A classificação é realizada com SVM obtendo-se uma acurácia de 91%, sensibilidade de 100% e especificidade de 87%.

Sousa et al. (2016) utilizaram LBP (*Local Binary Pattern*) para representar a região do disco óptico, funções geoestatísticas (semivariograma, semimadograma, covariograma e correlograma) para extrair características de textura e SVM para a classificação alcançando-se 84% de acurácia, 82% de sensibilidade e 88% de especificidade.

Neste trabalho utiliza-se o conceito de índices de diversidade que são aplicados na ecologia para medir a diversidade de espécies em comunidades e realizar a comparação das diversidades entre as comunidades. Os índices de diversidade de *Shannon* e *McIntosh* são adaptados para serem utilizados como descritores de textura aplicados em imagens de fundo de olho com a finalidade de diagnóstico de glaucoma.

3. Materiais e Métodos

Esta seção apresenta o método proposto para diagnosticar o glaucoma em imagens de fundo de olho. A Figura 1 apresenta as etapas deste método. Para a realização dos testes é utilizada a base de imagens RIM-ONE [Trucco et al. 2013]. A primeira etapa do método é o pré-processamento (Seção 3.2). A segunda etapa é a extração de característica (Seção 3.3) utilizando os índices de diversidade de *Shannon* e *McIntosh* (Seção 3.3.1). Por último é realizada a classificação com SVM e a validação dos resultados (Seção 3.4).

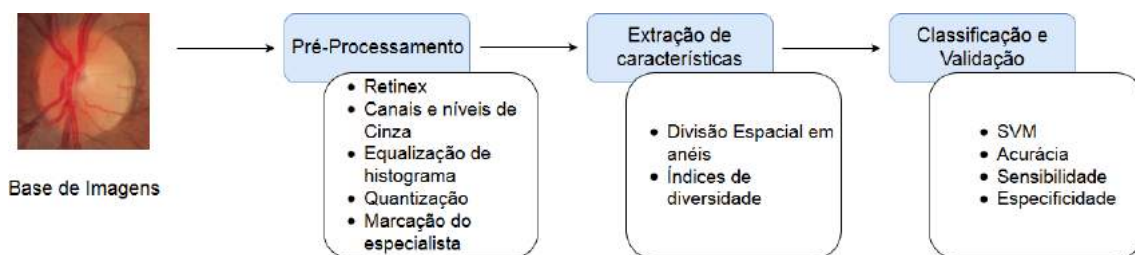


Figura 1. Etapas do método

3.1. Base de Imagens

A base de imagens de fundo de olho utilizada neste trabalho é a RIM-ONE v2 que é disponibilizada com imagens fornecidas por três hospitais: Hospital Universitário de Canarias, Hospital Clínico San Carlos e Hospital Universitário Miguel Servet. Possui 455 imagens separadas em duas classes. A classe *Normal*, possui 255 imagens de retinas saudáveis, e a classe *Glaucoma and suspicious* possui 200 imagens de retinas com glaucoma ou suspeitas. Algumas das imagens da classe *Glaucoma and suspicious*, por não apresentarem o diagnóstico claro e definitivo, são semelhantes as imagens da classe *Normal*.

As imagens são fornecidas no formato JPEG, sistema de cor RGB e acompanhadas por uma marcação, indicando a região do disco óptico, feita por um especialista. A Figura

2 (a) apresenta exemplo de imagem da classe *Normal* e a Figura 2 (b) da classe *Glaucoma and suspicious* acompanhadas de suas respectivas marcações do disco óptico.

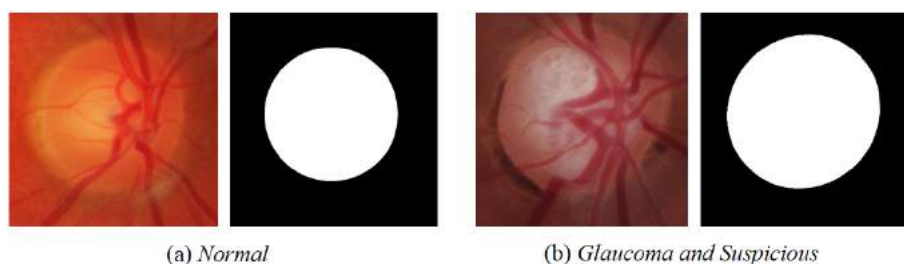


Figura 2. Exemplo de imagens de fundo de olho: (a) classe *Normal* e (b) classe *Glaucoma and suspicious*

3.2. Pré-Processamento

A preparação das imagens para a extração de características é feita em cinco subetapas. Na primeira subetapa utiliza-se o retinex [Banić and Lončarić 2013] para corrigir a iluminação não uniforme das imagens da retina. Na segunda subetapa a imagem que encontra-se no sistema de cor RGB é dividida nos seus respectivos canais (*Red*, *Green* e *Blue*) e também é gerada uma imagem em níveis de cinza (totalizando quatro imagens). Foi testada a aplicação do método a cada uma das imagens separadamente e combinadas. Porém a junção das características das quatro imagens apresentou melhor resultado.

Em seguida, na terceira subetapa, aplica-se a equalização de histograma nas imagens com o objetivo de realçar o contraste das estruturas da retina e fornecer uma melhor descrição da textura. A Figura 3 (a) mostra uma imagem em níveis de cinza antes da equalização e a Figura 3 (b) após a equalização.

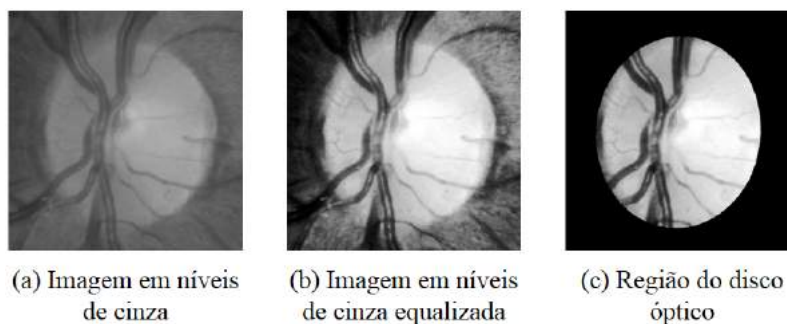


Figura 3. Equalização de histograma aplicada a imagem de fundo de olho e segmentação do disco óptico: (a) imagem em níveis de cinza, (b) imagem em níveis de cinza equalizada e (c) região do disco óptico

Na quarta subetapa, cada uma das quatro imagens equalizadas é decomposta em outras seis imagens com valores máximos diferentes (gerando quantizações diferentes). São usadas como faixas de valores de quantização: 8, 7, 6, 5, 4, e 3 *bits*. A quantização é utilizada para combinar os indivíduos (*pixels*) em um número menor de espécies (intensidades). Assim, aumentando a capacidade de capturar informação sobre indivíduos de baixa ocorrência ao serem unidos com outros indivíduos. Na quinta e última subetapa de pré-processamento a máscara fornecida pela RIM-ONE v2 é aplicada a cada imagem para a obtenção da região do disco óptico (região onde as características serão extraídas). A Figura 3 (c) mostra o resultado da aplicação da máscara na imagem.

3.3. Extração de Características

Após o pré-processamento as imagens são submetidas a extração de características. Os índices de diversidade de *Shannon* e *McIntosh* (Seção 3.3.1) são utilizados como descritores de textura. Para aplicação dos índices uma divisão espacial do disco óptico (Seção 3.3.2) é realizada, permitindo uma análise de cada sub-região obtida.

3.3.1. Índices de Diversidade

Diversidade, no contexto de ecologia, refere-se a variedade de espécies em uma comunidade ou *habitat*. Biodiversidade envolve dois conceitos: riqueza de espécies e equabilidade. Riqueza de espécie é simplesmente o número de espécies presentes em uma determinada comunidade ou área de interesse. Equabilidade descreve a variabilidade na abundância de espécies. Em uma comunidade em que todas as espécies tem aproximadamente o mesmo número de indivíduos sua equabilidade é máxima. Um índice de diversidade é uma estatística que incorpora informações de riqueza e equabilidade. Esse é utilizado para medir a diversidade de uma comunidade onde cada membro pertence a uma única espécie. [Marrugan 2004].

Os índices de diversidade são utilizados em situações comparativas. Pode-se utilizá-los para dizer que a comunidade *A* possui uma maior ou menor diversidade que a comunidade *B* [Melo 2008]. Para entender as equações que calculam os índices são necessárias algumas definições: *S* é o número de espécies presentes na amostra, *N* é o número total de indivíduos da amostra, *n_i* é o número de indivíduos da espécie *i* e *p_i* é a probabilidade de um indivíduo pertencer a espécie *i* e é calculado por $p_i = n_i/N$.

O índice de *Shannon* é derivado da teoria da informação e assume que indivíduos são amostrados aleatoriamente de uma comunidade infinitamente grande e que todas as espécies estão representadas na amostra [Marrugan 2004]. É definido pela equação:

$$H = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i \quad (1)$$

O índice de *McIntosh* parte do princípio que uma comunidade pode ser vista como um ponto em um hiper-volume *S*-dimensional e a distância euclidiana da comunidade para a origem pode ser utilizada como uma medida de diversidade. É uma medida de probabilidade de dois indivíduos selecionados aleatoriamente de uma comunidade infinitamente grande pertencerem a mesma espécie [Marrugan 2004]. É definido pela equação:

$$Mc = \frac{N - U}{N - \sqrt{N}} \quad (2)$$

onde $U = \sqrt{\sum_{i=1}^S n_i^2}$ é a distância euclidiana da comunidade para a origem.

Este trabalho investiga o uso dos índices de diversidade de *Shannon* e *McIntosh*, como descritores de textura, para diferenciar imagens de retinografias como saudáveis ou glaucomatosas. Para realizar essa investigação deve-se considerar os *pixels* como indivíduos e suas tonalidades representando os conjuntos de espécies.

3.3.2. Divisão Espacial da Imagem

Cada imagem gerada pela etapa de pré-processamento é dividida em sub-regiões em forma de anéis. Para a divisão da região primeiro são calculados círculos concêntricos. Para isso encontra-se o valor do raio do maior círculo que é calculado medindo-se a distância do centro do disco óptico até o pixel da borda mais distante. Para obter os valores dos raios de cada círculo concêntrico é utilizada a equação $R_i = i * R_{max}/nr$ onde R_i é o raio do i -ésimo círculo, R_{max} é o valor do maior raio, i é o índice do raio do círculo a ser determinado e nr é o total de círculos que cada imagem será dividida.

A partir dos círculos são obtidos as sub-regiões em forma de anéis. Um anel é a área representada pela diferença entre dois círculos consecutivos pois esses compartilham o mesmo centro. A Figura 4 mostra as sub-regiões em forma de anéis geradas a partir do disco óptico. A última imagem da esquerda para a direita é o último anel obtido e possui uma forma diferente pois seu limite externo é a marcação do disco óptico.

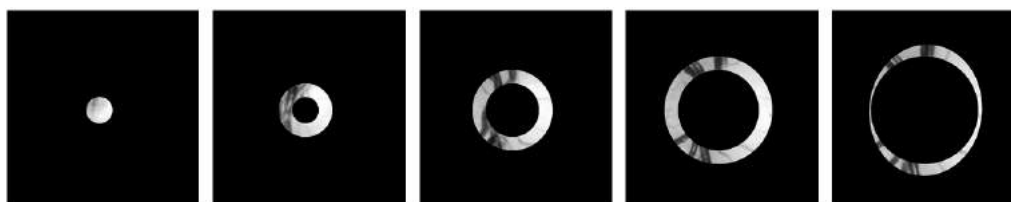


Figura 4. Exemplo de sub-regiões em forma de anéis

3.4. Classificação e Validação dos Resultados

A última etapa do método é a classificação das imagens em saudáveis e glaucomatosas. As características geradas na etapa de extração são submetidas a SVM com função de base radial (RBF), *kernel* mais comumente usado para problemas de reconhecimento de padrões. Todas as características foram normalizadas entre -1 e 1 para melhorar a performance. Assim, garante-se um tempo de processamento mais curto sem descaracterizar o valor original da característica [Duda and Hart 1973].

A SVM [Vapnik 1998] é um método para estimar uma função de classificação dos dados baseada na construção de um hiperplano como superfície de decisão de forma que a margem de separação entre as classes seja maximizada. Utiliza o princípio de minimização do risco estrutural, que se baseia no fato de que a taxa de erro de uma máquina de aprendizado nos dados de teste é limitada pela soma da taxa de erro de treinamento e por um termo que depende da dimensão Vapnik-Chervonenkis (dimensão VC) [Zhuang and Dai 2006].

Na SVM a superfície de decisão é definida pela equação:

$$f(x) = \sum_{i=1}^l \alpha_i y_i k(x, x_i) + b \quad (3)$$

onde $k(x, x_i) = \Phi(x) \cdot \Phi(x_i)$ é a função de *kernel* (Φ representa a transformação dos dados de entrada para um espaço de característica de maior dimensão), e os coeficientes α_i e b , são soluções das equações:

$$\min_{w,b,\xi} \frac{1}{2} w^T \cdot w + C \sum_{i=1}^l \xi_i \quad (4)$$

sujeito a:

$$y_i [w^T \cdot \phi(x_i) + b] \geq 1 - \xi_i \quad (5)$$

onde w é um vetor de pontos perpendicular no hiperplano de separação, $C > 0$ é um parâmetro escolhido pelo usuário, correspondendo a penalidade do erro e os ξ_i 's são variáveis de folga que penalizam os erros de treinamento. Funções de *kernel* são utilizadas pela SVM para lidar com distribuição de dados que possuem separação de limites complexa. Os dados no espaço de características são transformados para outro espaço de maior dimensão onde é possível criar um hiperplano de separação. A RBF é definida pela equação $k(x, y) = e^{-\gamma \|x-y\|^2}$ onde $\gamma > 0$ é um parâmetro escolhido pelo usuário.

O resultado da classificação é identificar as imagens como saudáveis ou glaucomatosas. Quando uma imagem com glaucoma é corretamente classificada é chamada de verdadeiro positivo (VP). Uma imagem saudável classificada corretamente é chamada de verdadeiro negativo (VN). Quando uma imagem glaucomatosa é considerada saudável é chamada falso negativo (FN). E quando uma imagem saudável é considerada glaucomatosa é chamada falso positivo (FP) [Chimieski and Fagundes 2013].

A partir desses valores as métricas de sensibilidade, especificidade e acurácia são calculadas para avaliar o desempenho do classificador. A sensibilidade indica a porcentagem de vezes que o teste acertou imagens glaucomatosas e é definida como $VP/(VP + FN)$. A especificidade é a porcentagem de vezes que o teste acertou imagens saudáveis e é definida como $VN/(VN + FP)$. A acurácia é a porcentagem de casos classificados corretamente sobre o número total de casos e é definida como $(VP + VN)/(VP + FP + VN + FN)$.

4. Resultados e Discussões

Nesta seção são apresentados os resultados alcançados pelo método proposto na Seção 3. Foram submetidas ao método todas as imagens da base (Seção 3.1). Essas passaram primeiramente pela etapa de pré-processamento (Seção 3.2). Cada imagem pré-processada originou um total de vinte e quatro imagens (4 imagens (R, G, B, *Gray scale*) * 6 quantizações). Cada imagem gerada é dividida em 5 sub-regiões (valor escolhido empiricamente) em forma de anéis (Seção 3.3.2). As características são extraídas de cada sub-região. Para cada índice de diversidade são extraídas 120 características (4 imagens (R, G, B, *Gray scale*) * 6 quantizações * 5 anéis).

Para a classificação foi utilizada a SVM com RBF como *kernel*, onde seus dois parâmetros, C e γ , foram estimados utilizando-se o *grid-search* [Chang and Lin 2011]. Na classificação a base de imagens foi dividida aleatoriamente em treinamento e teste. As porcentagens utilizadas foram 50/50%, 60/40%, 70/30% e 80/20% para treinamento e teste respectivamente realizando cinco classificações para cada. Essa configuração de número de proporções e repetições tem o objetivo de mostrar que o método é robusto a diversas situações. As métricas de sensibilidade, especificidade e acurácia foram utilizadas para avaliar cada classificação. Os parâmetros C e γ foram estimados para cada novo conjunto de treinamento.

Para os testes os índices de diversidade são utilizados separadamente e em conjunto. A média de cada métrica, após cinco classificações, acompanhada do desvio padrão são apresentadas nas Tabelas 1, 2 e 3. Pode-se observar na Tabela 1 que para o índice de *Shannon* o melhor resultado foi obtido na proporção 70/30% com uma acurácia média de 85,69%, uma sensibilidade média de 83,00% e especificidade média de 87,79%.

Tabela 1. Resultados dos testes utilizando o índice de *Shannon*

Treinamento/Teste (%)	Acurácia (%)	Sensibilidade (%)	Especificidade (%)
50/50	80,00 ±0,03	79,60 ±0,03	80,31 ±0,04
60/40	81,87 ±0,03	82,75 ±0,06	81,18 ±0,07
70/30	85,69 ±0,04	83,00 ±0,08	87,79 ±0,03
80/20	84,40 ±0,05	81,00 ±0,10	87,06 ±0,03

Para os testes com o índice de *McIntosh* (Tabela 2) o melhor resultado foi obtido na proporção 80/20% com uma acurácia média de 83,52%, uma sensibilidade média de 81,00% e especificidade média de 85,49%. Nos testes realizados utilizando a junção dos índices de *Shannon* e *McIntosh*, o melhor resultado foi obtido na proporção 80/20 como pode ser visto na Tabela 3, com uma acurácia média de 88,35%, sensibilidade média de 84,50% e especificidade média de 91,37%.

Tabela 2. Resultados dos testes utilizando o índice de *McIntosh*

Treinamento/Teste (%)	Acurácia (%)	Sensibilidade (%)	Especificidade (%)
50/50	78,77 ±0,02	82,80 ±0,04	75,63 ±0,04
60/40	79,89 ±0,04	82,50 ±0,02	77,84 ±0,07
70/30	83,36 ±0,01	80,67 ±0,05	85,45 ±0,03
80/20	83,52 ±0,03	81,00 ±0,07	85,49 ±0,03

Tabela 3. Resultados dos testes utilizando os índices de *Shannon* e *McIntosh*

Treinamento/Teste (%)	Acurácia (%)	Sensibilidade (%)	Especificidade (%)
50/50	81,32 ±0,03	83,20 ±0,06	79,84 ±0,04
60/40	82,97 ±0,04	84,00 ±0,06	82,16 ±0,08
70/30	82,92 ±0,06	81,67 ±0,08	83,90 ±0,05
80/20	88,35 ±0,04	84,50 ±0,05	91,37 ±0,04

O método apresentou valores de especificidades no geral maiores que os de sensibilidade indicando um acerto maior de casos de imagens saudáveis. Isso pode ser explicado pelo fato da classe *Glaucoma and suspicious* possuir imagens suspeitas de glaucoma que são semelhantes as imagens da classe *Normal*. Os resultados apresentados demonstram que as características geradas pela aplicação do índice de *Shannon* combinadas com o índice de *McIntosh* conseguem classificar de forma eficaz as imagens de fundo de olho. Os desvios padrões das métricas, em todos os testes, apresentam valores menores que um, indicando que o método possui pouca variação entre as execuções.

A Tabela 4 mostra uma breve comparação dos resultados encontrados neste trabalho com alguns trabalhos relacionados. São apresentadas a base utilizada, quantidade de amostras, e as métricas de validação. Este trabalho comparado aos que usam a mesma base de imagens possui resultado melhor que os trabalhos de Gajbhiye e Kamthane (2015)

e Sousa et al. (2016) que utilizam um número de imagens menor e igual respectivamente em relação ao método proposto. Possui resultados inferiores ao trabalho de Haleem et al. (2015) que utiliza um número menor de imagens. Comparado com trabalhos que utilizam outras bases possui resultados inferiores ao trabalho de Salam et al. (2016), porém esse utiliza um número menor de imagens. A maioria dos trabalhos relacionados utilizou uma base com um número menor de amostras, exceto o trabalho de Acharya et al. (2014) que também possui os melhores resultados entre todos os trabalhos.

Tabela 4. Comparação do método com os trabalhos relacionados. Acurácia (Ac), Sensibilidade (Sen) e Especificidade (Esp)

Trabalho	Base (amostras)	Ac (%)	Sen (%)	Esp (%)
Acharya et al., 2014	privada (510)	93,1	89,75	96,2
Gajbhiye and Kamthane, 2015	RIM-ONE (350)	86,57	-	-
Haleem et al., 2015	RIM-ONE (158)	92,95	-	-
Salam et al., 2016	privada (150)	91	100	87
Sousa et al. 2016	RIM-ONE (455)	84	82	88
Método Proposto	RIM-ONE (455)	88,35	84,50	91,37

5. Conclusão e Trabalhos Futuros

Neste trabalho foi proposto um método para o diagnóstico de glaucoma utilizando os índices de diversidade de *Shannon* e *McIntosh* para a extração de características da textura e SVM para classificação das imagens em glaucomatosas ou saudáveis. O glaucoma é a segunda maior causa de cegueira no mundo. Seu diagnóstico em estágios iniciais previne a perda de visão e cegueira através da disponibilização de métodos mais eficientes de tratamento.

Os resultados obtidos pelo método proposto são compatíveis aos apresentados na revisão de literatura e comprovam que os índices de diversidade de *Shannon* e *McIntosh* podem ser utilizados para caracterizar textura de imagens de fundo de olho. Como trabalhos futuros, pretende-se: implementar e testar outros índices de diversidade (*Brillouin*, *Berger Parker*, *Simpson* e *Camargo*) para melhorar as taxas de acerto; utilizar outras técnicas de reconhecimento de padrões (*Random Forest*, *Adaboost* e *Naive Bayesian*); e aplicar esse método a outras bases de imagens de fundo de olho.

Referências

- Acharya, U. R., Ng, E. Y. K., Eugene, L. W. J., Noronha, K. P., Min, L. C., Nayak, K. P., and Bhandary, S. V. (2014). Decision support system for the glaucoma using Gabor transformation. *Biomedical Signal Processing and Control*, 15:18–26.
- Banić, N. and Lončarić, S. (2013). Light random sprays retinex: Exploiting the noisy illumination estimation. *IEEE Signal Processing Letters*, 20(12):1240–1243.
- CBO (2017). Glaucoma. <http://www.cbo.net.br/novo/publico-geral/glaucoma.php>. (Acesso em 26 fev. 2017).
- Chang, C.-C. and Lin, C.-J. (2011). LIBSVM: A library for support vector machines. *ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology*, 2:27:1–27:27.

- Chimieski, B. F. and Fagundes, R. D. R. (2013). Association and classification data mining algorithms comparison over medical datasets. *Journal of health informatics*, 5(2).
- Duda and Hart (1973). *Pattern classification and scene analysis*. John Wiley.
- Faust, O., Acharya, R., Ng, E. Y.-K., Ng, K.-H., and Suri, J. S. (2012). Algorithms for the automated detection of diabetic retinopathy using digital fundus images: a review. *Journal of medical systems*, 36(1):145–157.
- Gajbhiye, G. O. and Kamthane, A. N. (2015). Automatic classification of glaucomatous images using wavelet and moment feature. In *2015 Annual IEEE India Conference (INDICON)*, pages 1–5.
- Haleem, M. S., Han, L., van Hemert, J., and Fleming, A. (2015). Glaucoma classification using regional wavelet features of the onh and its surroundings. In *Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2015 37th Annual International Conference of the IEEE*, pages 4318–4321. IEEE.
- Lin, S. C., Singh, K., Jampel, H. D., Hodapp, E. A., Smith, S. D., Francis, B. A., Dueker, D. K., Fechtner, R. D., Samples, J. S., Schuman, J. S., et al. (2007). Optic nerve head and retinal nerve fiber layer analysis: a report by the american academy of ophthalmology. *Ophthalmology*, 114(10):1937–1949.
- Marrugan, A. (2004). Measuring biological diversity. *Victoria, Australia: Blackwell Scienc Ltd a Blackwell Publishing company*.
- McIntosh, R. P. (1967). An index of diversity and the relation of certain concepts to diversity. *Ecology*, 48(3):392–404.
- Melo, A. S. (2008). O que ganhamos confundindo riqueza de espécies e equabilidade em um índice de diversidade. *Biota Neotropica*, 8(3):21–27.
- Salam, A. A., Khalil, T., Akram, M. U., Jameel, A., and Basit, I. (2016). Automated detection of glaucoma using structural and non structural features. *SpringerPlus*, 5(1):1519.
- SBG (2009). 3ª consenso brasileiro de glaucoma de ângulo aberto. <http://www.sbglaucoma.com.br/pdf/consenso03.pdf>. (Acesso em 01 mar. 2017).
- Shannon, C. E. (1949). W. weaver the mathematical theory of communication. *Urbana: University of Illinois Press*, 29.
- Sousa, J. A. d., Almeida, J. D. S., Paiva, A. C. d., Silva, A. C., and Gattass, M. (2016). Diagnóstico de glaucoma em retinografias baseado em geoestatística. *Journal of Health Informatics*, 8:737–746.
- Trucco, E., Ruggeri, A., Karnowski, T., Giancardo, L., Chaum, E., Hubschman, J. P., Al-Diri, B., Cheung, C. Y., Wong, D., Abramoff, M., et al. (2013). Validating retinal fundus image analysis algorithms: Issues and a proposal validating retinal fundus image analysis algorithms. *Investigative ophthalmology & visual science*, 54(5):3546–3559.
- Vapnik, V. (1998). *Statistical Learning Theory*. Wiley New York.
- WGA (2017). What is glaucoma? <http://www.worldglaucoma.org/what-is-glaucoma/>. (Acesso em 17 mar. 2017).
- Zhuang, L. and Dai, H. (2006). Parameter optimization of kernel-based one-class classifier on imbalance learning. *Journal of Computers*, 1(7):32–40.

Uma nova abordagem para a segmentação de pulmões utilizando o método de contorno ativo não paramétrico *Optimum Path Snakes* em imagens de tomografia computadorizada

Aldísio G. Medeiros¹, Solon A. Peixoto¹, Antonio Carlos S. Barros²,
Victor Hugo C. de Albuquerque² e Pedro P. Rebouças Filho¹

¹Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Ceará
- Fortaleza - CE - Brasil

²Universidade de Fortaleza - Fortaleza - CE - Brasil

{aldisio.medeiros, solon.alves, carlosbarros}@lapisco.ifce.edu.br

victor.albuquerque@unifor.br, pedrosarf@ifce.edu.br

Abstract. *This work propose a new approach to segmentation of lungs on computed tomography images using an adaptative method based on active contour called Optimum Path Snakes (OPS). This method is combined with Analysis of Human Tissue Densities (AHTD), a new method for feature extraction. The analysis examined 72 lung images of humans volunteer with fibrosis, chronic obstructive pulmonary disease and healthy. The results shows that OPS method combined with AHTD extractor has competitive potencial when compared to other segmentation methods, reaching values of Accuracy and Sensitivity in the order of $99,88\% \pm 00,12$ and $99,25\% \pm 00,33$, respectively. With degree of similarity above 95% when compared to ground thru, on average. We can conclude that the proposed approach can be used as an aid for medical diagnosis in pulmonology.*

Resumo. *Este trabalho propõe uma nova abordagem para a segmentação pulmonar utilizando o método adaptativo e não paramétrico baseado em contornos ativos chamado Optimum Path Snakes (OPS), em imagem de tomografia computadorizada. O método é combinado com o extrator Análise de Densidades dos Tecidos Humanos (ADH) para a extração de características. Foram utilizadas 72 imagens pulmonares de voluntários com fibrose, doença pulmonar obstrutiva crônica e saudáveis. Os resultados mostram que o OPS combinado com ADH apresenta potencial competitivo frente aos demais métodos comparados, alcançando valores de Acurácia e Sensibilidade na ordem de $99,88\% \pm 00,12$ e $99,25\% \pm 00,33$, respectivamente. Com índices de similaridade ao padrão-ouro superiores a 95%, em média, podemos concluir que a abordagem proposta pode ser utilizada para auxílio ao diagnóstico médico em pneumologia.*

1. Introdução

As patologias pulmonares vêm ocupando posições preocupantes dentre as doenças que mais causam mortes em todo o mundo. Somente no ano de 2015 houve um aumento de

30% no número de mortes por doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC), patologia que em 2002 ocupava a quinta posição dentre as maiores taxas de mortalidade. Segundo da Silva Barros [2016], já estima-se que até 2030 se torne a terceira maior causa de morte no mundo em decorrência do desenvolvimento urbano e da baixa qualidade de vida.

Segundo Pauwels et al. [2012], a DPOC caracteriza-se como uma redução progressiva no fluxo respiratório que pode ser causada por bronquite crônica ou enfisema, obstruindo o espaço aéreo pulmonar e reduzindo a capacidade de oxigenação. Deste modo, o diagnóstico precoce dedica-se a detecção do grau de aeração pulmonar, sendo a tomografia computadorizada (TC) o exame de escolha na avaliação diagnóstica de doenças no parênquima do pulmão [da Silva Felix et al., 2009]. Neste contexto, o auxílio ao diagnóstico médico tem-se mostrado uma importante ferramenta clínica, que além de contribuir para a detecção de artefatos oferece aos especialistas uma segunda opinião.

Considerando os sistemas de apoio ao diagnóstico baseado em visão computacional, a etapa de segmentação apresenta-se como um passo fundamental para a detecção de indícios. Dentre as técnicas utilizadas em imagens médicas, pode-se citar a aplicação de morfologia matemática [Medeiros and Ferreira, 2015], combinação do crescimento de região com limiares locais [da Silva Felix et al., 2009], além da aplicação da transformada *watershed* para a segmentação pulmonar [Avinash et al., 2016]. Tais técnicas tradicionais, entretanto, não costumam apresentar resultados consistentes para imagens de TC do tórax, segundo Rebouças Filho et al. [2014] isso se deve ao fato das estruturas internas, como artérias, veias e vias aéreas atuarem como ruído, distorcendo o processo de segmentação e comprometendo resultados. Dessa forma, visando contornar estas limitações, destacam-se técnicas baseadas nos métodos de contornos ativos (MCA).

Diante deste cenário, este trabalho propõe uma nova abordagem para a segmentação de pulmões em imagens de TC do tórax utilizando o método adaptativo e não paramétrico baseado em contornos ativos chamado *Optimum Path Snakes* (OPS). Além disso um novo extrator chamado Análise de Densidades dos Tecidos Humanos (ADH) é utilizado para a representação de características na imagem.

Uma análise é realizada a partir do padrão-ouro (*ground truth*) construído por um médico especialista. A partir dos resultados é feita uma avaliação estatística entre o OPS e outros métodos de segmentação considerados na literatura, além de comparar com o Sistema para a Detecção e a Quantificação de Enfisema Pulmonar (SISDEP), proposto por da Silva Felix et al. [2009]. Para o estudo foram utilizadas imagens de pulmões classificadas com fibrose, DPOC e sadias.

2. Fundamentação Teórica

Métodos tradicionais podem apresentar limitações quando aplicados a segmentação de pulmões em imagens de TC do tórax, segundo Rebouças Filho et al. [2014], isso acontece por conta das imprecisões geradas pelas estruturas internas do parênquima pulmonar. Afim de contornar essas limitações, as técnicas de contornos ativos baseiam-se em métodos que visam a minimização de uma função que representa a deformação da curva, que evolui no sentido de compreender totalmente a região de interesse.

Inicialmente o método baseado em contornos ativos foi proposto por Kass et al. [1987] e se baseia em modelos deformáveis, onde o objetivo é adaptar uma curva inicial

ao contorno da região de interesse, esta curva é deformada pela atuação de forças e evolui até as bordas do objeto. A deformação é regida por uma função de energia E a ser minimizada, podendo ser calculada por

$$E = \sum_{p=0}^{N-1} \{E_{int}[c(p)] + E_{ext}[c(p)]\}, \quad (1)$$

onde E_{int} representa a energia interna que é relativa às propriedades da região interna da curva de segmentação c , em um determinado ponto $c(p)$, e pode ser descrita como

$$E_{int}[c(p)] = \alpha c'(p) + \beta c''(p), \quad (2)$$

onde os termos α e β definem pesos que regem o grau de curvatura, $c'(p)$ e $c''(p)$ representam a primeira e segunda derivada no ponto $c(p)$ da curva, respectivamente. Já a energia externa, denotada por $E_{ext}[c(p)]$, depende das propriedades que são externas à curva, tais como linhas, segmentos e terminações. Desta maneira, através de um processo iterativo, a curva c é deformada pela busca de mínimos locais, reduzindo o valor da energia E e assim atraindo ou repelindo o contorno da curva até as bordas do objeto de interesse.

2.1. Métodos de Segmentação

Conforme descrevem Rebouças Filho et al. [2014], o MCA Tradicional apresenta limitações na segmentação de regiões com saliências e bifurcações, além de necessitar ser inicializado próximo às bordas do objeto de interesse. Dessa forma, surgem novos MCAs que visam superar tais limitações, alguns propondo novas energias internas, enquanto outros propõem novas energias externas, como é o caso do *Gradient Vector Flow* (GVF), descrito por Xu and Prince [1998], inspira-se em vetores de gradiente para adaptação da curva. Embora o GVF solucione o problema de bifurcações, ele é limitado para regiões côncavas onde pode ocorrer a anulação dos vetores de fluxo, assim como também em regiões uniformes, onde o gradiente é nulo ocasionando a estabilização precoce da curva.

Já o MCA *Vector Field Convolution* (VFC), proposto por Li and Acton [2006], define uma energia externa que pode ser descrita como uma operação de convolução. O VFC tem como principal vantagem o baixo custo computacional quando comparado aos cálculos de gradiente que são empregados no GVF. Porém, o VFC tem dificuldades quando aplicado em objetos que possuem uma borda de alta intensidade e a outra borda de baixa intensidade, levando a uma segmentação além da região interessada. Para contornar esta limitação da Silva Felix et al. [2013] propuseram o MCA THR modular (THR mod) e o MCA THR multidirecional (THR multi), ambos utilizam a Transformada de Hilbert Radial (THR) 2D para calcular uma nova energia externa, baseando-se na técnica de espalhamento gradual para detecção da borda.

Os métodos citados são inspirados no MCA Tradicional e fazem o uso de uma nova energia externa, entretanto, o cálculo desta energia não faz distinção entre as estruturas internas do parênquima pulmonar que podem atuar como ruídos. Neste sentido, Rebouças Filho et al. [2011] propuseram o MCA CRISP baseado nas faixas de densidade pulmonar, definidas sob unidades Hounsfield cada faixa representa uma classe de densidades. Este método incorpora uma energia externa cujo cálculo é sensível a cada classe de tecido, a partir dos limiares locais esta energia é combinada com a energia interna do

MCA Balão proposto por Mackiewicz [1995]. A limitação deste método está justamente na inicialização da curva, uma vez que o método Balão pode alcançar a estabilidade da curva de forma precoce quando inicializado em regiões descentralizadas e próximo a concavidades [Rebouças Filho et al., 2014].

Como alternativa ao MCA CRISP, Rebouças Filho et al. [2014] propuseram a utilização de uma nova energia balão, além de substituir a energia externa do CRISP por uma versão adaptativa, compondo assim um novo MCA chamado CRISP Adaptativo (CRAD). Uma de suas vantagens é a utilização de uma Rede Neural Artificial do tipo *Multi Layer Perceptron* para identificação dos limiares locais considerando as densidades dos tecidos.

2.2. Extratores de características

O número de informações em uma imagem pode ser descrito em valores da ordem de \mathbb{R}^n , onde n é o número de *pixels*. Logo, é possível perceber que uma análise considerando os *pixels* em sua totalidade torna-se um trabalho oneroso. Neste sentido, técnicas de extração de características são propostas na literatura como forma de melhor descrever os atributos importantes da imagem usando uma quantidade reduzida de elementos, de forma mais robusta e invariante às mudanças [da Silva Barros, 2016].

Neste contexto estão os momentos espaciais cujos valores escalares são capazes de descrever uma função e capturar suas características, além daqueles utilizados em estatística para a descrição de distribuição de probabilidade, como os momentos estatísticos (MomSta) e invariantes a escala do objeto. Hu [1962] propôs a utilização de sete momentos que são invariantes à escala, rotação e translação, conhecidos como invariantes de Hu (HU). Já a Matriz de Co-ocorrência de Níveis de Cinza (GLCM - *Gray Level Co-occurrence Matrix*) utiliza informações da textura do objeto para estabelecer a dependência espacial dos níveis de cinza de uma imagem, produzindo uma matriz que descreve informações da vizinhança em análise. A partir da GLCM, Haralick et al. [1973] descrevem uma família de medidas estatísticas capazes de representar os atributos espaciais da imagem, tais medidas são conhecidas como descritores de Haralick.

3. *Optimum Path Snakes* como uma nova abordagem de segmentação

Por outro lado, uma nova abordagem de segmentação em imagem de TC do tórax é proposta utilizando o MCA adaptativo de forma não paramétrica e com inicialização automática, denominado *Optimum Path Snakes* (OPS) [da Silva Barros, 2016].

3.1. Metodologia

Segundo da Silva Barros [2016], um ponto $c[p]$ é capaz de analisar a vizinhança e determinar o caminho ótimo para encontrar o objeto de interesse. Por esta razão, cada ponto p da curva c é chamado de explorador. Um ponto explorador é o elemento que sabe onde está e sabe o que está procurando, mas não sabe o que irá encontrar no trajeto de locomoção até o objeto desejado. Dessa forma, a técnica é inspirada no classificador Floresta de Caminhos Ótimos (OPF), descrito por [Papa et al., 2017], e analisa a vizinhança de cada ponto da curva através de uma árvore de menor espalhamento. Cada nó da árvore de caminhos ótimos define uma classe denominada de protótipo que é utilizada para a classificação das amostras, onde o protótipo é sempre o ponto atual do ponto explorador e as amostras são a vizinhança em análise.

O MCA OPS define uma nova energia total que pode ser representada por

$$E_{OPS}[c(p)] = E_{intOBA}[c(p)] + E_{extOP}[c(p)], \quad (3)$$

onde o termo $E_{intOBA}[c(p)]$ descreve uma nova energia interna ótima para determinar o trajeto mais eficaz para que um ponto explorador possa expandir sua curva atual, definindo assim uma força interna denominada balão adaptativa, F_{OBA} . Na Figura 1 é apresentada uma curva sob a aplicação da F_{OBA} , com a expansão dos pontos A e F , a partir do ponto médio dos vizinhos, M_{OB} e M_{EG} . Os pontos na região em vermelho, por serem internos a curva, isto é, já explorados, recebem um custo elevado de forma a evitar a exploração em uma região já visitada. Já a energia externa, $E_{extOP}[c(p)]$, é definida pelo conhecimento que guia cada ponto explorador, este conhecimento é adquirido através do classificador OPF combinado com um extrator de características, é, portanto, descrita como

$$E_{extOP}[c(p)] = \begin{cases} 1, & \text{quando a amostra (vizinho) está dentro da curva,} \\ F_{OP}[c(p)], & \text{caso contrário,} \end{cases} \quad (4)$$

em que $F_{OP}[c(p)]$ é o custo do protótipo, entre 0 e 1, obtido no treinamento OPF associado a classe dos objetos não desejados. Percorrendo caminhos ótimos das amostras até os protótipos. Definindo, assim, o quão próximo do ponto explorador está o objeto desejado.

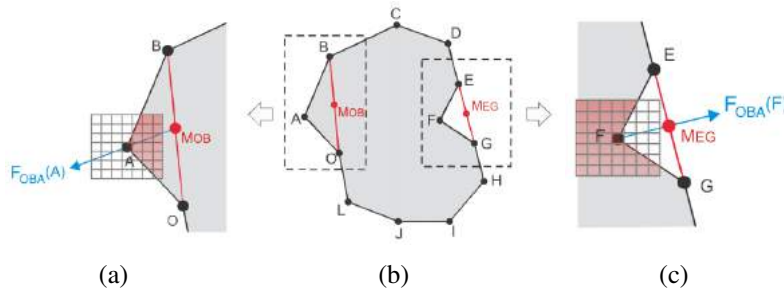


Figura 1. Exemplo de atuação da força balão adaptativa F_{OBA} , com a expansão dos pontos A , à esquerda em (a), e F , à direita em (b), a partir do ponto médio dos vizinhos, M_{OB} e M_{EG} , respectivamente.

3.2. Análise de Densidades dos Tecidos Humanos (ADH)

O método de Análise de Densidades dos Tecidos Humanos (ADH) é uma generalização da Análise das Densidades Pulmonares (ADP) baseada em unidades Hounsfield (UH) proposta por Rebouças Filho et al. [2014]. A ADH generaliza esse descritor afim de que possa ser considerado para extração de características em qualquer tipo de imagens médicas, tomando como base o conhecimento das densidades dos tecidos. Os trabalhos de Rebouças Filho et al. [2013, 2014] mostram que é possível identificar padrões entre os *pixels* de imagens dos pulmões, analisando a composição de sua vizinhança em percentual das faixas radiológicas dos tecidos.

Dessa forma, considerando uma matriz de densidade D , a função f determina a quantidade de pontos com densidades presentes em cada classe u_i de densidade:

$$f(x, y, u_i) = \sum_{l=-k}^k \sum_{m=-k}^k R(x-l, y-m), \quad (5)$$

com $k = (V - 1)/2$, onde V é a ordem da vizinhança analisada, e $R(x,y)$ pode ser definida como

$$R(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{lim}_{inf}(u_i) < D(x, y) < \text{lim}_{sup}(u_i), \\ 0, & \text{caso contrário,} \end{cases} \quad (6)$$

em que $\text{lim}_{inf}(u_i)$ e $\text{lim}_{sup}(u_i)$ representam os limites inferior e superior da faixa de densidade, definida em UH, para a classe u_i . Assim, ajustando a matriz de densidade D é sugestiva a sua aplicação em outros tipos de tecidos com densidades bem definidas.

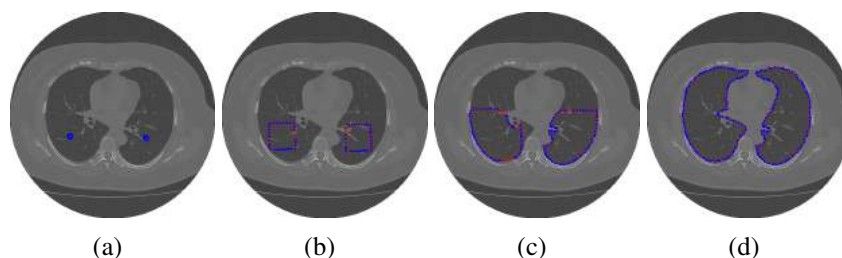


Figura 2. Exemplo de evolução da curva via OPS, sendo: (a) Curva inicial, (b) 5, (c) 10, (d) 30 iterações (contorno estável).

Na Figura 2 é ilustrada a evolução da curva após iterações de minimização das energias, atingindo neste caso a estabilidade após a trigésima iteração. Na Figura 3 são descritas as etapas do método, desde a abertura da imagem até a estabilização da curva.

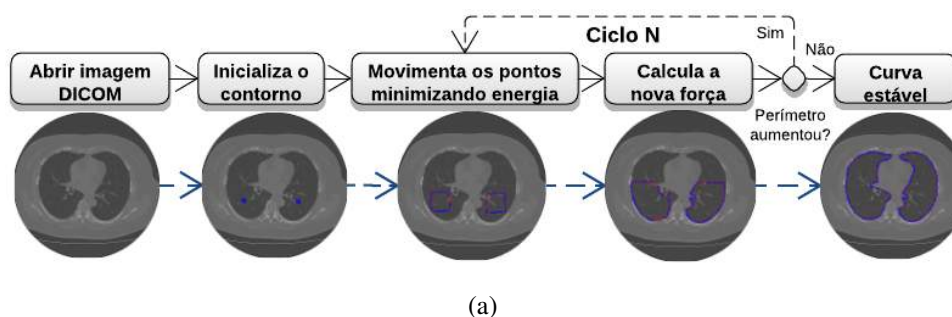


Figura 3. Diagrama do processo de segmentação do método OPS

3.3. Base de imagens utilizadas

As imagens utilizadas para validação do método constituem uma base de imagens obtidas em parceria com o Hospital Walter Cantídio da Universidade Federal do Ceará. Foram cedidas sob a avaliação e aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa da UFC – COMEPE (Protocolo nº 35/06). Os exames foram gerados pelos equipamentos Toshiba Aquilion, GE Medical System LightSpeed16 e Philips Brilliance 10. Todas as imagens são 512x512 *pixels* com 16 bits e formam uma base de 36 imagens com dois pulmões cada, totalizando um conjunto com 72 imagens de pulmão. O padrão-ouro das imagens analisadas foi obtido por meio da segmentação manual realizada por um pneumologista.

4. Resultados e Discussões

A primeira fase da avaliação do método consiste em uma análise do MCA OPS considerando as diferentes combinações de classificadores OPF, bem como extratores de

Tabela 1. Resultado das métricas de avaliação considerando o MCA OPS combinado com diferentes OPFs e extratores.

OPF	Método	Máscara	Se	Ac	MCC	HD
Gaussian	ADH	15x15	99,88±00,20	99,25±00,33	95,05±01,62	04,02±00,75
	MomSta	15x15	99,05±02,68	98,67±02,47	92,32±12,31	04,73±01,91
	HU	7x7	99,62±01,66	99,02±01,58	92,47±15,16	04,49±01,70
	GLCM	15x15	91,88±03,81	91,88±03,81	00,12±00,04	11,45±01,29
Euclidean	ADH	15x15	99,87±00,18	99,29±00,35	95,08±01,83	04,07±00,73
	MomSta	15x15	99,86±00,22	99,38±00,35	95,95±01,62	03,96±00,70
	HU	15x15	99,86±00,19	99,37±00,37	95,89±01,67	03,99±00,72
	GLCM	15x15	99,84±00,21	99,31±00,37	95,30±02,05	04,09±00,94
Manhattan	ADH	15x15	99,89±00,17	99,30±00,35	95,12±01,89	04,07±00,75
	MomSta	15x15	99,86±00,22	99,37±00,33	95,94±01,61	03,93±00,69
	HU	15x15	99,89±00,16	99,36±00,38	95,86±01,61	04,04±00,81
	GLCM	15x15	99,86±00,20	99,31±00,38	95,32±01,94	04,05±00,90

características e dimensões de máscaras utilizadas para a análise de vizinhança. Desta etapa, considerou-se os melhores resultados obtidos sob o ponto de vista das métricas de avaliação em relação ao padrão-ouro. Já a segunda fase consiste no comparativo de outros métodos da literatura baseados em MCA com novas energias externas como o GVF, VFC, THR mod e THR multi, mas também aqueles que propõem novas energias internas como é o caso do CRISP e CRAD, além do sistema de segmentação SISDEP. Por fim, um comparativo é feito entre os resultados de cada fase. Com o objetivo de analisar o desempenho dos métodos, quatro métricas de avaliação estatística são empregadas neste trabalho: sensibilidade (Se), acurácia (Ac), além do coeficiente da correlação de Matthews (MCC) e distância de Hausdorff (HD).

4.1. Análise dos resultados

Os testes foram realizados em 72 imagens de pulmão distribuídas igualmente entre amostras com fibrose, DPOC e sadias. A primeira fase da análise considerou o desempenho do MCA OPS quando associado ao classificador OPF com diferentes distâncias para o treinamento das classes, nesta análise foram consideradas as distâncias Gaussiana, Euclidiana e Manhattan. Para cada configuração foi executada uma segmentação utilizando os extratores de características ADH, MomSta, HU e GLCM, para cada extrator foram analisadas máscaras com dimensões de 3 à 15x15 *pixels*, com passo de 2 *pixels*.

Os resultados foram submetidos a uma avaliação quantitativa considerando as medidas Se, Ac e MCC, além destas, também foi avaliado o grau de proximidade entre a região segmentada pelo método e o padrão-ouro fornecido pelo especialista, através da métrica HD. Para analisar a vizinhança com o ponto explorador, a máscara que apresentou melhores resultados foi com a dimensão 15x15 *pixels* para todas as combinações de extratores e classificadores OPF. A única exceção foi no classificador OPS com distância Gaussiana e extrator HU, onde a janela de melhor desempenho foi a 7x7, como pode ser visto na Tabela 1.

Considerando a acurácia, a proporção de predições corretas apresentou resultados superiores a 99% para OPS com distância Euclidiana e Manhattan, para estas combinações o melhor resultado alcançado foi para o extrator MomSta com 99,38±00,35% e 99,37±00,33% respectivamente. Todavia, considerando o desvio

Tabela 2. Resultado das métricas de avaliação para o MCA OPS e demais métodos considerados neste análise.

MCA	Se	Ac	MCC	HD
OPS	99,88±00,20	99,25±00,33	95,05±01,62	04,02±00,75
SISDEP	99,86±00,19	99,49±00,22	96,25±01,65	04,03±00,93
CRISP	99,85±00,36	99,02±00,54	93,24±02,85	04,59±01,42
CRAD	99,69±00,33	99,54±00,27	96,42±03,09	03,77±01,02
VFC	99,62±00,48	99,00±00,49	92,92±03,20	04,95±01,43
GVF	99,58±00,93	98,85±00,84	91,41±07,89	05,21±01,44
THR mod	99,42±00,74	98,81±00,75	92,04±03,61	04,98±01,54
THR multi	98,75±01,54	98,07±01,96	88,27±07,97	05,68±02,02

padrão apresentado, o extrator ADH apresentou resultados bastante similares para as mesmas distâncias. Nota-se, entretanto, que MonSta não apresentou melhores resultados quando aplicado ao OPS com distância Gaussiana, sendo portanto superado pelo extrator ADH, com valores de acurácia na ordem de 99,25±00,33%.

Já em relação a sensibilidade do método, os melhores resultados obtidos com as diferentes combinações do classificador OPF foram com o extrator ADH com sensibilidade 99,88±00,20% para a distância Gaussiana, 99,87±00,18% para Euclidiana e, por fim, 99,89±00,17% para Manhattan. O coeficiente MCC, corrobora com os resultados obtidos para a sensibilidade, como pode ser observado na Tabela 1, dentre as combinações do OPF com os demais extratores, o extrator ADH obteve os melhores resultados, considerando a distância Gaussiana, com valores proporcionais a 95,05±01,62%, superando os demais.

Conforme o grau de similaridade entre a região segmentada pelo OPS e o padrão-ouro, considerando a medida de distância HD, os resultados na Tabela 1 mostram que o extrator MomSta apresentou melhores resultados com distâncias Euclidiana, com 03,96±00,70%, e Manhattan com 03,93±00,69%, apresentando porém resultados insatisfatórios para a distância Gaussiana, sendo novamente superado pelo extrator ADH, com valor 04,02±00,75% em contraste com o valor 04,73±01,91% do MomSta, ressaltando assim a proximidade da área segmentada com o padrão de análise.

Diante dos resultados expostos na primeira etapa de análise, é possível concluir, portanto, que os melhores resultados para o OPS, com as diferentes configurações do OPF, foram obtidas pelos extratores MomSta e ADH, apresentando resultados bastante similares nas diferentes distâncias analisadas. Sendo que os melhores resultados considerando a distância Gaussiana foram obtidos pelo extrator ADH, superando os demais.

Os resultados da segunda fase, descritos na Tabela 2, indicam que o índice *Se* apresentou os melhores resultados para o OPS, sendo superior aos demais métodos com o melhor resultado sendo 99,88±00,20%. Já em relação ao índice de acurácia, os resultados apontam que o OPS é superior aos métodos VFC, GVF, HR mod, THR multi e CRISP, alcançando um índice de 99,25±00,33%, e com resultado semelhante ao método CRAD. Acredita-se que estes resultados decorrem da característica adaptativa das energias internas do OPS, onde cada ponto explorador é apoiado pelo conhecimento fornecido pela classificação do OPF, identificando assim as bordas do objeto desejado, não sendo afetado, por exemplo, pelas estruturas internas ao parênquima pulmonar, proporcionando assim medidas qualitativas aceitáveis.

Em relação ao índice de similaridade HD, o valor alcançados pelo método OPS foi da ordem de $04,02 \pm 00,75\%$, mostrando ser superior aos métodos CRISP, VFC, GVF, THR mod e THR multi. Para esta medida, o melhor resultado foi alcançado pelo método CRAD com valor $03,77 \pm 01,02\%$, porém o alto desvio padrão pode representar uma instabilidade do método na segmentação, tornando seu resultado semelhante àqueles obtidos pelo SISDEP e OPS. Por fim, nas Figuras de 4(a) até (h) é ilustrada a diferença, em vermelho, do resultado de cada método comparado com o padrão-ouro, ressaltando a discrepância da segmentação com o padrão para imagens classificadas com DPOC.

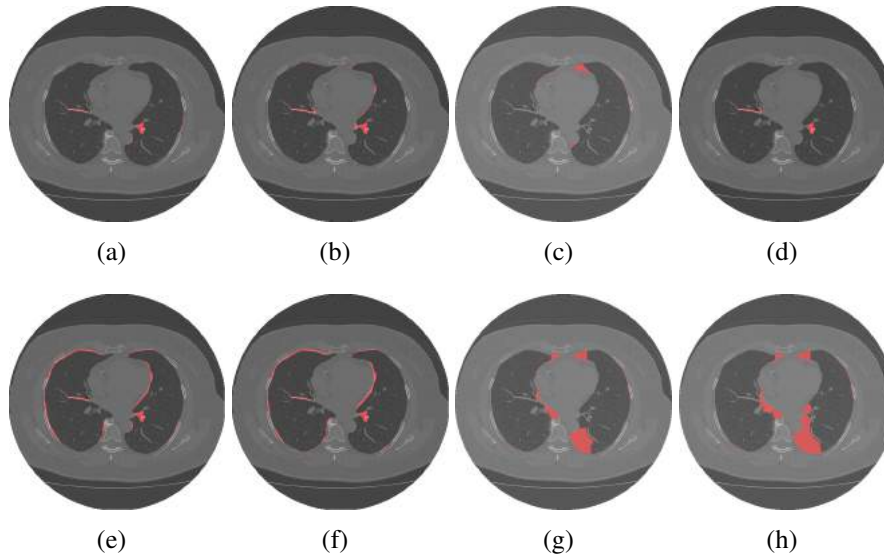


Figura 4. A diferença, na região em destaque, entre a segmentação do especialista e os resultados de segmentação via: (a) OPS, (b) SISDEP, (c) CRISP, (d) CRAD, (e) VFC, (f) GVF, (g) THR mod e (h) THR multi.

5. Conclusões

Os resultados obtidos neste trabalho, conforme Tabelas 1 e 2, mostram que o método de segmentação OPS apresenta resultados bastante promissores considerando seu potencial frente aos métodos baseados em contornos ativos já disponíveis na literatura. Alcançando valores aceitáveis de Acurácia e Sensibilidade, na ordem de $99,88\% \pm 00,20$ e $99,25\% \pm 00,33$, respectivamente. Expressando também índices de similaridade próximos ao padrão ouro fornecido pelo especialista, onde a distância HD sugere um grau de similaridade aceitável, semelhante ou superior aos demais métodos comparados.

Além disso, o extrator ADH apresentou índices superiores aos momentos estatísticos, invariantes, bem como ao extrator GLCM, considerando o OPF com distância Gaussiana. Isso mostra que o extrator têm potencial competitivo frente as demais técnicas, sugerindo a sua aplicabilidade como descritor de características em imagens de TC do tórax para a segmentação da região pulmonar. Com índices de similaridade ao padrão-ouro superiores a 95%, em média, podemos concluir que a abordagem proposta pode ser utilizada para auxílio ao diagnóstico médico em pneumologia.

Referências

S Avinash, K Manjunath, and S Senthil Kumar. An improved image processing analysis for the detection of lung cancer using gabor filters and watershed segmentation tech-

- nique. In *International Conference on Inventive Computation Technologies (ICICT)*, volume 3, pages 1–6. IEEE, 2016.
- Antonio Carlos da Silva Barros. *Optimum Path Snakes: Novo Método de Contornos Ativos Adaptativo e Não-Paramétrico*. PhD thesis, Universidade de Fortaleza, Fortaleza, CE, 2016.
- John Hebert da Silva Felix, Paulo C. Cortez, Rodrigo C. S. Costa, Simone C. B. Fortaleza, Eanes D. B. Pereira, and Marcelo A. Holanda. Avaliação computacional de enfisema pulmonar em TC: comparação entre um sistema desenvolvido localmente e um sistema de uso livre. *J. bras. pneumol*, 35(9):868–876, 2009.
- John Hebert da Silva Felix, Paulo C. Cortez, Pedro P. Rebouças Filho, TS Cavalcante, and Marcelo A. Holanda. Novo método de contornos ativo baseado na Transformada de Hilbert Radial. In *V Latin American Congress on Biomedical Engineering CLAIB 2011 May 16-21, 2011, Habana, Cuba*, pages 1051–1053. Springer, 2013.
- Robert M Haralick, Karthikeyan Shanmugam, et al. Textural features for image classification. *IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics*, 3(6):610–621, 1973.
- Ming-Kuei Hu. Visual pattern recognition by moment invariants. *IRE transactions on information theory*, 8(2):179–187, 1962.
- Michael Kass, Andrew Witkin, and Demetri Terzopoulos. Snakes: Active contour models. In *International Journal of Computer Vision*, volume 1, pages 321–331, 1987.
- Bing Li and Scott T Acton. Vector field convolution for image segmentation using snakes. In *2006 IEEE International Conference on Image Processing*, pages 1637–1640. IEEE, 2006.
- Blair Mackiewicz. *Intracranial boundary detection and radio frequency correction in magnetic resonance images*. PhD thesis, CiteSeer, 1995.
- Aldisio Gonçalves Medeiros and Daniel S. Ferreira. Detecção de agrupamentos de microcalcificações em imagens digitais de mamografias. *XV WIM - Workshop de Informática Médica, Recife - PE*, 2015.
- João Paulo Papa, Silas Evandro Nachif Fernandes, and Alexandre Xavier Falcão. Optimum-path forest based on k-connectivity: Theory and applications. *Pattern Recognition Letters*, 87:117–126, 2017.
- Romain A. Pauwels, A. Sonia Buist, Peter M.A. Calverley, Christine R. Jenkins, and Suzanne S. Hurd. Global strategy for the diagnosis, management, and prevention of chronic obstructive pulmonary disease. *American journal of respiratory and critical care medicine*, 2012.
- Pedro Pedrosa Rebouças Filho, Paulo C. Cortez, and Marcelo A. Holanda. Modelo de contorno ativo crisp: nova técnica de segmentação dos pulmões em imagens de TC. *Revista Brasileira de Engenharia Biomédica*, 27(4):259–72, 2011.
- Pedro Pedrosa Rebouças Filho, Paulo C. Cortez, John Hebert Félix da Silva, Tarique da Silveira, and Marcelo A. H. Cavalcante. Modelo de contorno ativo crisp adaptativo 2D aplicado na segmentação dos pulmões em imagens de TC do tórax de voluntários saudáveis e pacientes com enfisema pulmonar. *Revista Brasileira de Engenharia Biomédica*, 29(4):363–376, 2013.
- Pedro Pedrosa Rebouças Filho, Paulo C. Cortez, Antônio C. S. Barros, and Victor H. C. De Albuquerque. Novel adaptive balloon active contour method based on internal force for image segmentation—A systematic evaluation on synthetic and real images. *Expert Systems with Applications*, 41(17):7707–7721, 2014.
- Chenyang Xu and Jerry L Prince. Snakes, shapes, and gradient vector flow. *IEEE Transactions on image processing*, 7(3):359–369, 1998.

FisioDRUM: *Serious Game* em desenvolvimento

Gustavo Rodrigues F. Gonçalves¹, Eduardo M. S. de Brito², Thaise S. G. de Brito³

¹Curso de Computação – Faculdade de Ciências Aplicadas e Sociais de Petrolina (FACAPE) – Petrolina, PE – Brasil

²Colegiado de Informática – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano (IF SERTÃO) – Floresta, PE - Brasil

³Departamento de TI – Programa GP – Secretaria de Desenvolvimento Social, Criança e Juventude (SDSCJ) – Petrolina, PE – Brasil

gu_rodrigues13@hotmail.com, eduardo.brito@ifsertao-pe.edu.br,
thaisegama@gmail.com

Abstract. “*Serious games*” is a game category that involves training and entertainment, so that the user interacts with the machine in a more playful way without losing training which is the activity’s focus. This article presents the development of a “serious game” that seeks to assist physical therapy sessions in the treatment of deficit of strength and movements range using the musical instrument drums as a resource. The game is in the process of prototyping and it intends to combine the game with song so that the patient can perform the treatment in a funnier and more motivating way.

Resumo. “*Serious games*” é uma categoria de games que envolve treinamento e entretenimento, para que o usuário interaja com a máquina de uma forma mais lúdica sem perder o treinamento que é foco da atividade. Este artigo apresenta o desenvolvimento de um “serious game” que visa auxiliar as sessões de fisioterapia no tratamento de déficit de força e amplitude de movimentos usando como recurso o instrumento musical bateria. O jogo está em fase de prototipação e se propõe a combinar o jogo com a música para que o paciente possa realizar o tratamento de forma mais divertida e motivadora.

1. Introdução

Diante do crescimento tecnológico nos diversos ramos da ciência, a saúde tem sido uma área privilegiada quanto aos benefícios trazidos pelos implementos da computação, que auxiliam os profissionais tanto no diagnóstico preciso, na intervenção adequada, como na reabilitação [Cardoso et al. 2008].

Os *Serious Games* (SG) aparecem como uma boa opção para métodos alternativos pela sua adaptabilidade para cada paciente, levando em consideração suas limitações motoras e cognitivas, além da capacidade motivacional dos jogos que mantém o paciente sempre estimulado pela ideia de diversão e tratamento aliadas.

O déficit de força e amplitude de movimentos é uma lesão causada por um acidente ou doença, causando limitações físicas. A bateria é um instrumento musical que proporciona a execução de movimentos similares aos exercícios realizados nas sessões de fisioterapia para o tratamento dessa lesão. Ao tocar bateria as mãos são alternadas ocorrendo à flexão dos punhos. Realiza ainda, movimentos nos pedais que trabalham a

dorsiflexão dos pés, proporcionando ganho de força devido a pressão realizada. Diante desse contexto, é relevante o uso da bateria para auxiliar o tratamento desse tipo de lesão.

A presente pesquisa tem o objetivo de apresentar um *serious game*, nomeado de FísioDRUM, que usa o instrumento musical bateria como recurso para auxiliar no tratamento fisioterapêutico de pacientes que apresentam déficit de força e amplitude de movimentos. O SG proposto encontra-se em desenvolvimento, na fase de prototipação.

A primeira etapa deste trabalho consistiu em pesquisa bibliográfica para levantamento de subsídios teóricos, seguindo de estudos das ferramentas e dispositivos disponíveis para analisar a viabilidade técnica.

Posteriormente, foram realizadas reuniões com profissionais da área de saúde, sendo uma fisioterapeuta e um educador físico, além da participação de um músico baterista que apresentou os principais movimentos praticados no instrumento para os demais profissionais, a fim de identificar os movimentos realizados ao tocar o instrumento que é adotado nas sessões de fisioterapia de pacientes que realizam o tratamento proposto, identificando assim a viabilidade do projeto. Também foram realizadas entrevistas com os profissionais envolvidos para o levantamento dos requisitos, que serviram de subsídio para o desenvolvimento do protótipo.

O artigo segue a seguinte estrutura: a seção 2 apresenta os aspectos conceituais de *serious games*. A seção 3 apresenta a influência da música e da bateria para saúde, o desenvolvimento do protótipo é apresentado na seção 4 e na seção 5 são disponibilizadas as conclusões.

2. Serious Games

Os *Serious Games* são jogos com um propósito específico, que extrapolam a ideia de entretenimento e oferecem outros tipos de experiências, como às voltadas ao aprendizado e treinamento. Estes jogos vêm se tornando populares por oferecerem um meio motivador de aprender [Barnes *et al.* 2009].

De acordo com Machado, Moraes e Nunes (2009), um dos setores que tem se beneficiado dos *serious games* é o da medicina. Para Johnson *et al.* (2007) jogos para a saúde são de grande importância e servem para vários aspectos, tais como: distração do paciente em seu tratamento fisioterapêutico, condicionamento físico, treinamento de profissionais, entre outros.

A construção de *serious games* específicos para saúde, a presença e participação dos profissionais da área é essencial para que tais ferramentas tenham validade e possam ser amplamente utilizadas pelos usuários finais. Tal parceria tem contribuído, de forma significativa, no treinamento, educação e informação destes profissionais e de pacientes, uma vez que estas ferramentas estimulam e motivam o aprendizado dos jogadores. Diversos fatores são considerados relevantes à expansão destas aplicações: as dificuldades encontradas na obtenção de materiais, validação de produtos e treinamento de pessoal, bem como a necessidade de novas abordagens para reabilitação e ensino de hábitos saudáveis [Machado, Moraes e Nunes 2009].

3. A Música e o instrumento musical bateria para saúde

A música vem sendo utilizada para ajudar no tratamento de problemas de ordem física, emocional ou mental. O papel da música como agente terapêutico para auxiliar em

diversas áreas da saúde tem despertado interesse nas últimas décadas, com pesquisadores enfatizando a importância da música no equilíbrio físico e mental do indivíduo. [Scharfer 2002, Storr 1992 e Leandro et al. 2006].

4. Desenvolvimento do protótipo

Para implementação do FísioDRUM, utilizou-se o motor de jogos Unity 3D, por proporcionar uma interface intuitiva e interativa para desenvolvimento de games. Para capturar os movimentos realizados pelo paciente foi utilizado o dispositivo Kinect, sensor de movimentos escolhido devido a sua capacidade de reproduzir movimentos do corpo todo.

Por se tratar de aplicação de propósito específico, o escopo do jogo foi delineado a partir do estudo etnográfico e entrevistas com os profissionais das áreas de saúde e da música. Os principais requisitos levantados foram:

[RQ01]. Reconhecer e mapear o corpo e os movimentos do paciente.

[RQ02] Utilizar técnicas de interação natural.

[RQ03] Apresentar interface interativa e de fácil aprendizado.

[RQ04] Oferecer recursos que orientem o usuário na realização dos exercícios.

[RQ05] Oferecer diferentes níveis de exercícios.

[RQ06] Possuir recurso que permita o acompanhamento da evolução do tratamento do paciente.



Figura 1: Tela Principal

O FísioDRUM, apresenta como cenário principal o instrumento musical bateria, como pode ser visto na figura 1. O personagem do jogo é o paciente que terá que utilizar baquetas físicas para realizar os toques na bateria virtual. O sensor de movimentos Kinect faz a identificação automática dos movimentos, mapeando os movimentos das mãos e dos pés do paciente, permitindo uma interação natural entre o usuário e o instrumento, atendendo aos RQ01 e RQ02.

A interface é simples, apresentando apenas a bateria, com indicação visual da ordem dos exercícios a serem realizados por meio de um tutorial que orientará o paciente de forma intuitiva para que mesmo sem conhecimento do instrumento possa realizar os movimentos de forma fácil e agradável, de acordo com o RQ03 e RQ04.

Oferece diferentes fases, que irão apresentar desde exercícios mais simples à exercícios mais complexos. Cada fase apresentará diferentes sequências de movimentos, diferentes ritmos e os instrumentos da bateria também serão incrementados na evolução de cada fase, atendendo o RQ05.

No final de cada fase será avaliado a força, amplitude, velocidade e precisão dos movimentos realizados nos toques dos instrumentos captados pelo sensor, permitindo avançar para a próxima fase ou repetir o exercício. O índice de desempenho deverá ser configurado pelo profissional de saúde de acordo com os perfis de usuários. A partir das avaliações citadas o jogo apresentará ainda relatórios para acompanhamento do tratamento, qual apresentará o desempenho e evolução do paciente atingindo o RQ06.

5. Conclusão

Com o presente trabalho foi possível identificar de forma preliminar a viabilidade técnica do jogo e a potencialidade de aplicação para o tratamento proposto, devido a colaboração e interesse dos profissionais envolvidos, que consideram importante o projeto. Além do interesse demonstrado também pelos pacientes desses profissionais.

Não foi encontrado nenhum jogo que utiliza o instrumento musical bateria como forma de tratamento fisioterapêutico, o que caracteriza um projeto inovador. É importante ainda destacar que para o tratamento da lesão indicada o jogo deverá ser utilizado com acompanhamento do fisioterapeuta, qual também será responsável pela indicação do nível do jogo para cada paciente. Como trabalho futuro sugere a realização de testes de aceitação, análise de viabilidade do protótipo e implementação do jogo.

Referências

- Barnes, T., Encarnação, L. M. e Shaw, C. D. (2009). “Serious games”. *IEEE Computer Graphics and Applications*. 29(2), p. 18-19.
- Cardoso JP et al. (2008) “Construção de uma práxis educativa em informática na saúde para ensino de graduação”. *Ciênc. saúde coletiva*, Rio de Janeiro, 13(1):283- 288, Fev.
- Conde, G. (2013) “Gus conde, Bateroterapia”, <http://gusconde.com/bateroterapia/>, Fevereiro.
- Johnson, W. L. (2007). “Serious use of a serious game for language learning”. *Frontiers in Artificial Intelligence and Applications*, p. 158, 67.
- Leandro, J.A. et al (2006) “Promoção da Saúde Mental: música e inclusão social no Centro de Atenção Psicossocial de Castro/PR”. *Conexão UEPG*.
- Machado, L. S., Moraes, R.M., Nunes, F. (2009) "Serious games para saúde e treinamento imersivo." Porto Alegre: SBC, p. 31-60.
- Schafer R.M. (1991) “Limpeza de Ouvidos”. In: *O Ouvido Pensante*. SP: Fundação Editora da UNESP, p. 67-95
- Storr A. (1992) “Music, Brain and Body. In: *Music and the Mind*.” New York: Free Press, p. 24- 48.

On the Use of Fully Convolutional Networks on Evaluation of Infrared Breast Image Segmentations

Rafael H. C. de Melo, Aura Conci, Cristina Nader Vasconcelos

Computer Institute

Federal Fluminense University (UFF) - Niterói, RJ, Brazil

{rmelo,aconci,crisnv}@ic.uff.br

***Abstract.** Medical images usually must have their region of interest (ROI) segmented as a first step in a pattern recognition procedure. Automatic segmentation of these images is an open issue. This paper presents an automated technique to define the ROI for infrared breast exams, based on the use of Fully Convolutional Networks (FCN). Adequate comparison among new approaches by using available databases is very important, here some comparisons with other techniques are made. Moreover, concerning on line diagnosis, the comparison among possible techniques must be efficient enough to be done in real time. With our approach the time to segment the ROI was 100 milliseconds and the average accuracy obtained was 95%.*

1. Introduction

Pattern recognition and image processing techniques have been applied in analysis of the most common types of medical diagnosis. In these techniques, the first step, after acquiring the image, is to separate the important element, that is, to obtain the region of interest (ROI). In computer aided systems, a complete automatic procedure of ROI segmentation is desirable. That is, this region must be found with no user interaction. Although due to complexities and importance of this step in the computer aided diagnosis the ROI identification algorithms must be considered to produce a correct result and for this must be evaluated comparing its results again the manually done results, or the named “ground truth”. Moreover, in most of these computer aided diagnosis (CADx), computer aided detection (CADe) and in clinical decision support systems (CDSS) the ROI segmentation must be done in real time, that is, during the patient examination, to avoid time wasting for doctors in postprocessing information’s.

A difficult part of evaluating ROI segmentation of medical images is to obtain the ground truth. This is because it is necessary a huge effort and time of specialists (doing a manual segmentation is very time consuming). In this work, we use a public database that has 285 images (original and ground truths) [Silva et al 2014] [Visual Lab 2016].

The use of Convolutional Networks (convnets) to solve many problems of image recognition are growing over the last years, mainly for semantic segmentation [Ciresan et al 2012], [Farabet et al 2013], [Pinheiro and Collobert 2014], [Hariharan et al 2014] and [Gupta et al 2014]. A new idea is presented here: to evaluate the power of a Fully

Convolutional Networks (FCN) [Shelhamer et al 2016] on ROI segmentation of infrared breast images.

The propose of use a Deep Network relies in the fact that it learns all the necessary filters and characteristics by itself in order to better describe, or, in our case, segment, the image given as input. Normally, to train deep nets like this, it is better to have in hand a huge dataset, but our universe of ground truths only has 285 inputs so, after separating the training, testing and validating sets a data augmentation approach was included on the training set. We use two approaches for it: horizontal mirror and displacement. Another strategy used to deal with the small amount of input data was the use of pre trained classifier weights (what is named fine-tuning). We better explain this on section 4.

The goal of this work is to present this new and fast way to extract ROIs for a diagnostic system. Thus, it explores the generalization capability of the Fully Convolutional Networks to the task of ROI identification (segmentation). Is important to keep in mind that once the Network is trained it generates the segmentation of new input images very fast even in a low cost hardware. The results were compared against other techniques in respect the quality of the response.

2. Validating the segmentation of region of interest (ROI)

The region of interest (ROI) segmentation in infrared images intends to separate the regions of the breast and it neighborhood from the input image. ROI must include all breast tissue, and, as much as possible, the entire related ganglion groups [Conci et al, 2015]. The correct definition of region of interest (ROI) and development of ground truth has a key role on the development of segmentations techniques and breast disease detection.

In the last two decades, the breast thermography has achieved an average sensitivity and specificity around 90% for breast tumors detection [Ng, 2009]. Studies shown that thermogram could identify precancerous or cancerous areas earlier than others exams [Arora et all 2008] [Amalu et all 2006]. Infrared images are not invasive or harmful to patients and is cheaper than traditional methods, such as mammography, ultrasound and magnetic resonance. It also has a potential use for diagnosis of young women since their breasts present a density that makes difficult early visualization of problems by x-ray. The various exams are complementary, so, the thermogram should be used with other method instead of substituting the traditional ones. The concept of combined diagnostic makes possible the achievement of a high degree of specificity and sensibility in diagnosis [Conci et al. 2013].

3. Database

A public database with 285 medical images (in gray scale) as well as its ground truths (in black and white) have been used, its image has 320x240 pixels [Silva et al 2014]. Database could be accessed in [Visual Lab 2016]. A sample of the data can be seen on figure 1. Original images of the ground truths only have the contour of the ROI (in red) and the rest of the image in white on the original database. In order to enter as the label

of the convnet we transform the ROI in the white region and the background in black (on figure 1 the ground truth is already converted to black and white).

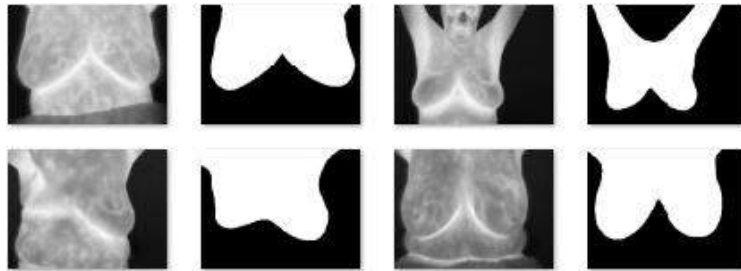


Figure 1. Representing a sample of the database with 4 thermal images in grayscale and the ground truths with the ROI in white and the rest in black.

4. Segmentation Architecture

For training, we use the VGG16 architecture used on FCN-VGG16 called FCN-8s on [Shelhamer et al 2016]. We use the concept of fine-tuning that is instead of starting the Net with random weights (no knowledge) we start our Net with weights from previous training that already looked many images. We can draw a parallel here using as sample a problem to child education that we would like to teach (train) how to spell, we could start with a kid that didn't have any reading skills (random start/weights) or with a kid that already know how to read (pre trained weights). For the fine-tuning we use the pre trained classifier weights obtained in [Shelhamer et al 2015].

The use of pre trained weights of segmentation problems that differs from the problem in had worth because the visual clues on digital images are always present. The Convolutional Networks, when presented with a huge amount of digital images starts to understand in the lower layers the basic clues like straight lines, corners, things that will help the Net to understand any kind of image.

The weights selected were the ones of the database PASCAL VOC 2011 segmentation challenge [Everingham et al 2011] because they presented the better results [Shelhamer et al 2015]. The database used to generate this weight contains natural images (planes, birds, cats, sofas and so on) not related with the medical images used on this work but they contribute a lot to the training step because the low level visual patterns are present in any kind of image. So, the use of these weights helped a lot the training.

FCN-8s was the chosen architecture because was the one with best results. The strategy of taking in consideration the connection with lower layers of the net seeking spatial information about the image is the main advantage of this architecture in relation with the others presented on [Shelhamer et al 2015].

5. Training approaches

The input passed to the convnet we used are the gray scale images of figure 1 and the output (or label) are also images, the black and white images of figure 1. As the database of the infrared breast image is too small to serve as input of deep networks (only 285 medical images), we adopted two distinct approaches in order to increase the amount of usable data seeking for the best result. The Horizontal Mirror on the data

augmentation was used because the breasts on image are supposed to be symmetric so it seems to be a good approach. The displacement of the 320x240 images on the 500x500 black background was used to produce a translation invariance on the method. Data augmentation approaches like that are very common on Deep Learning solutions like [Ciresan et al 2012], [Gupta et al 2014] and [Shelhamer et al 2016]. So, the two approaches used were: one duplicating the training set with the horizontal mirror and the other with the horizontal mirror plus the displacement of the images in nine different locations (top-left, top-center, top-right, center-left, center-center, center-right, bottom-left, bottom-center and bottom-right).

In all approaches, we separate 20% of the images for the testing set and 20% to the validation. We have done this before the data augmentation. As input for the net image of size 500x500 is expected, then original images were positioned initially in top left of a black canvas and the augmentation with displacement moves the original image around the other eight possible positions cited.

On horizontal mirror, the number of training samples doubled and on horizontal mirror plus displacement, we positioned the 88 samples in eight new positions (examples of new images are in figure 2). We describe the input size of each approach in table 1.

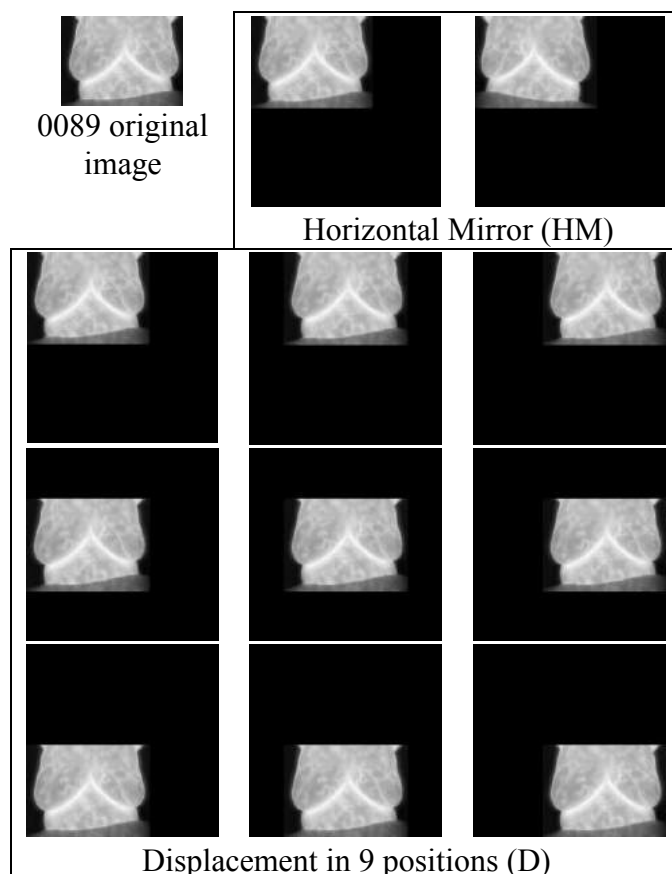


Figure 2. Illustration of the original image (320x240) and the two approaches of data augmentation used on images (500x500).

In spite of the input images are on gray scale they were considered as colored (on DIGITS input database) in order to be possible using the fine-tuning with the FCN-8s pre trained weights.

Table 1. Number of images in each augmentation approach

Augmentation approach		Mnemonic	Train	Validation	Test
1	Horizontal Mirror	HM	342	57	57
2	Horizontal Mirror plus Displacement	HM+D	1052	57	57

6. Experiments

The training step of the FCN need a good capacity of processing, so we use a GPU GTX TITAN X 12GB on Ubuntu 14.04 operating system. As only the training step is costly for the net execution once trained we used an Intel Core i7-4770 CPU with 3.4 GHz and 16Gb of RAM also in Ubuntu 14.04 operating system. For the batch size, we use one and two and variations of batch accumulation from one to four. Each model was trained using learning rates (alpha) of $1e-15$, $1e-14$, $1e-13$ e $1e-12$. Learning rate is the training parameter that controls how much a sample contributes on the update of network parameters (weight and bias) in one epoch (epoch is one complete pass through the whole training set). The other parameters used were the DIGITS default. The training converges in less than 30 epochs and after that the results shown that the model stops growing knowledge. All trainings take around 2 hours to converge.

We use the Interactive Deep Learning GPU Training System, DIGITS [NVIDIA DIGITS 2016], version 4 as the tool of loading and training the network. This version do not has native models to the segmentation task, so we have to make some adaptations commented on [Shelhamer et al 2016] using files from [Shelhamer et al 2015]. The new version of DIGITS (version 5) already comes with native models and the user interface to the segmentation task.

7. Results

The models trained with random weights (without fine-tuning) did not converge. The raining loss maintain it initial values. Higher probability on the no convergence lies on the fact that Depth Neural Networks requires a huge amount of input to correctly adjust its parameters and the database we use is very small. The validation error (loss - val) in figure 3 as well as in the other tests were not correct, probably DIGITS confuses the calculation or a problem with its configuration. In figure 3 is possible see a fine-tuned training with validation errors that seem to not converge but the results presented by this model are about 95% of accuracy.

Results of the two approaches within the best models are on table 2. All approaches using fine-tuning have very similar results and converged in few epochs. The models trained with batch=2 don't change results.

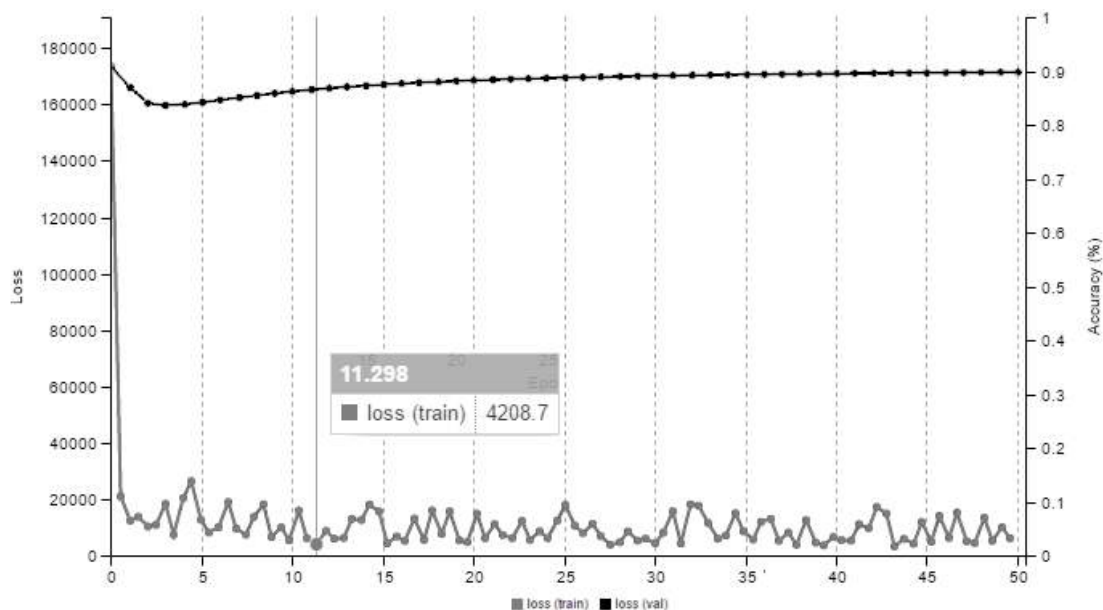


Figure 3. Training with fine-tuning. Approach HM, alpha = 1e-12. High validation error but 95% of accuracy on the segmentation results (printed screen from DIGITS).

Table 2. Results of the best models in all the approaches

Model	Batch	Epochs	Average Pixel Accuracy		
			ROI	Background	Total
HM – alpha 1e-12	1	11	97.4%	93.8%	95.5%
HM+D – alpha 1e-13	1	25	97.4%	94%	95.6%
HM+D – alpha 1e-12 batch acc 4	1	20	97%	93%	95%

The average distribution of the pixels on the test image set is well balanced between ROI (average: 49.4%, min: 38.3% and max: 64.6%) and background (average: 50.6%, min: 35.3% e max: 61.7%). The plots show the pixel accuracy distribution through the teste images. Figures 4 and 5 show some statistics results over the test set.

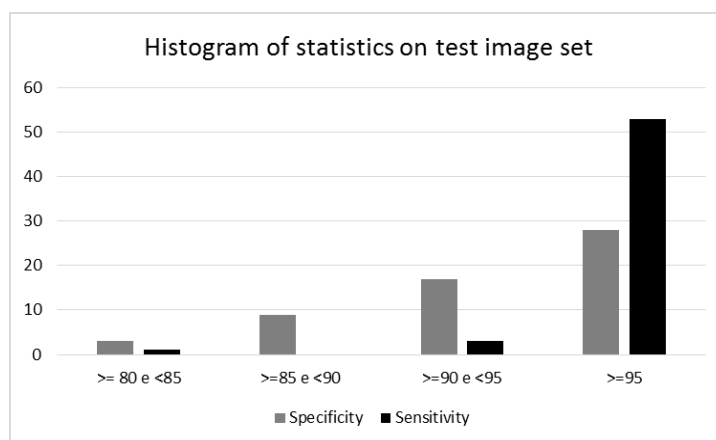


Figure 4. Histogram of ROI (sensitivity) and background (specificity) pixels correctly identified in model HM-alpha 1e-12.

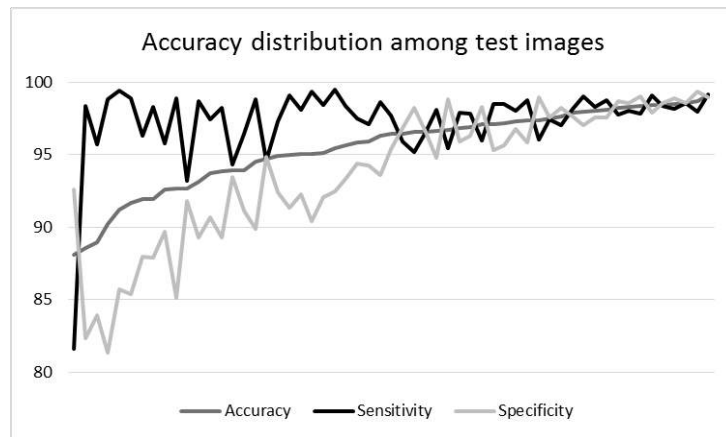


Figure 5. Pixel Accuracy distribution through test set in model HM-alpha 1e-12.

Next some samples (good, bad and curious) of the input images (figures 6, 7 and 8) can be seen, the segmentation result and its differences to the ground truth. The number images are the infrared breast exams in grayscale, GT prefix indicates the ground truth and the SEG prefix indicates the segmentation here proposed.

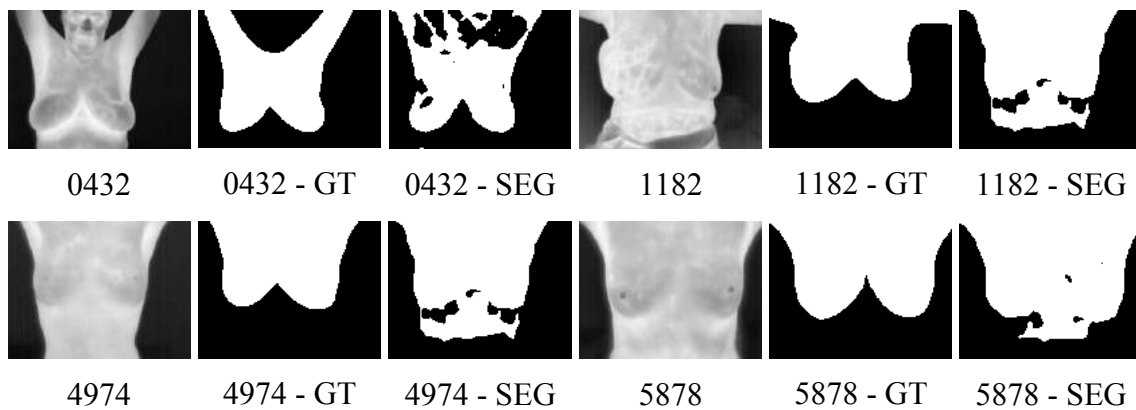


Figure 6. Samples of bad segmentations (accuracy less or equal to 90%). Sensitivity or Specificity near 80%.

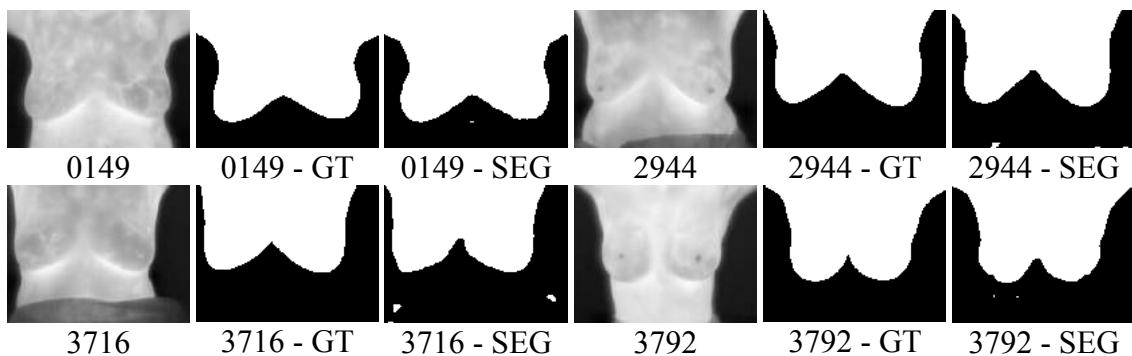


Figure 7. Samples of good segmentations (accuracy greater than 98%).

About the results in figure 6 (0432) is important to point out that the face of the patients appear in only three over the 285 images, in only fifteen the neck appears. Another important thing to note in many of the segmentations of figures 7 (images 0149, 3716, 3792) and 8 (image 5140) is that some little white islands were wrongly identified

as ROI parts). A simple pos processing could solve this problem and improve the results but in this work we focused in only explore the potentials of the FCN in an end-to-end application.

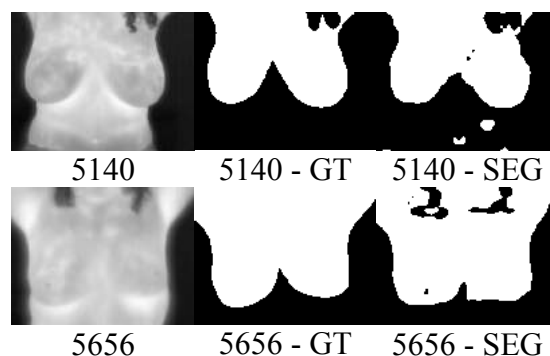


Figure 8. Curious samples: 95% of accuracy on 5140 and 92.7% on 5656.

Figure 8 shows the only two images from the database that presents the hair of the patients over the ROI. Quite curious actually is that on the ground-truth of the image 5140 the hair area is removed from the ROI but this doesn't happened on image 5656, possibly a misjudgment of one or more of the three specialists. The method here proposed, even without receiving any image with hair as input on the training (once the only two images of the database were on the test set) decide to remove the area of the two images as the segmentation result. The net result can even be considered more accurate than the ground truth in these cases. Table 3 shows the comparison between the best results obtained using a traditional image processing method including pre and pos processing and our proposal of using only a Deep Convnet. There are only three images because these was the intercept of the results showed in [Conci et al 2015], that, in this table, is identified as LSF, and our randomly choosed test.

Table 3. Comparing results of Accuracy, Sensitivity and Specificity obtained in model HM+D – alpha 1e-13 of this work with the LSF.

Image	Accuracy (ACC)		Sensitivity (SEN)		Specificity (ESP)	
	FCN	LSF	FCN	LSF	FCN	LSF
IR_3830	97.49	98.50	97.41	98.40	97.60	98.70
IR_3921	93.85	97.10	98.24	99.60	89.32	94.70
IR_5870	97.17	98.30	98.47	98.10	95.65	98.60
Max (all samples)	98.87	98.70	99.73	99.90	98.95	99.00
Min (all samples)	88.58	95.90	82.24	93.70	82.15	91.50
Average (all samples)	95.61	-	97.44	-	94.01	-

The three results of FCN on table 3 have ACC, SEN and ESP lower than LSF method but the results are quite promising since none pre or pos processing was used and the input data is very small for the general idea of convnets. It is important to note that the maximum values of accuracy considering all the samples exposed on papers are greater on our proposal. From last line of table 3 we see the average for each statistical measured for all our test set. Table 4 shows the best results for all the images of the test set and table 5 shows the worst results. The time to segment the ROI was 100 milliseconds in all models.

Table 4. Ten results of best Accuracy (ACC) on model HM+D – alpha 1e-13.

Image	Accuracy (ACC)	Sensitivity (SEN)	Specificity (ESP)
IR_0149	98.87	99.37	98.05
IR_2944	98.83	98.83	98.84
IR_3792	98.72	98.46	98.95
IR_3849	98.66	98.47	98.83
IR_3716	98.6	99.03	98.25
IR_0225	98.23	98.21	98.26
IR_3951	98.19	97.85	98.59
IR_3730	98.18	98.31	98.05
IR_3437	98.05	98.93	97.36
IR_1336	98.01	97.8	98.19

Table 5. Ten results of worst Accuracy (ACC) on model HM+D – alpha 1e-13.

Image	Accuracy (ACC)	Sensitivity (SEN)	Specificity (ESP)
IR_0432	88.58	82.24	92.99
IR_4974	89.08	97.79	83.52
IR_5479	89.89	99.73	83.28
IR_1182	90.4	95.64	86.48
IR_5878	90.59	98.71	82.15
IR_3819	90.88	99.03	83.74
IR_5656	91.07	91.29	90.67
IR_5624	91.59	98.52	87.17
IR_5336	92.52	96.09	89.31
IR_2931	93.16	98.41	89.51

8. Concluding remarks

The results shown that even with small datasets FCN could achieve good accuracy (95% average) using fine-tuning and some data augmentation strategies. To obtain the segmentation once the net is trained takes only 100 ms, which is very good to real time requirements. Future works include improving the results with simple pre and pos processing filters.

Acknowledgments

The author R.H.C.M. thanks CAPES for the financial support. A.C. is partially supported by CNPq, MACC and SIAD2. C.N.V. would like to thank NVIDIA for the donation of the Titan X used in this research.

References

Amalu, W. C., Hobbins, W. B., Head, J. F., Elliot, R. L. (2006) “Medical Devices and Systems”. In Infrared Imaging of the Breast – An Over View, In: Bronzino, J. D., The Biomedical Engineering Handbook, Third edition, pages 25.1 – 25.20. CRC Press.

- Arora, N. M. D.; Martins, D. B. S.; Ruggerio, D. B. S.; Tousimis, E. M. D.; Swistel, A. J. M. D.; Osborne, M. P. M. D. and Simmons, R. M. M. D. (2008), “Effectiveness of a noninvasive digital infrared thermal imaging system in the detection of breast cancer”, In: *The American Journal of Surgery*, pages 196, 523–526.
- Ciresan, D. C., Giusti, A., Gambardella, L. M., and Schmidhuber, J. (2012) “Deep neural networks segment neuronal membranes in electron microscopy images” in *NIPS*, 2012, pp. 2852–2860. 1, 2, 4, 7
- Conci, A., Sanchez, A., Liatsis, P., Usuki, H. (2013) “Signal Processing Techniques for Detection of Breast Diseases”, *Signal Processing*. Vol. 93, pp. 2784-2788.
- Conci, A., Galvão, S., Sequeiros, G. O., Saade, D.C.M., Machenry, T. (2015) “A new measure for comparing biomedical regions of interest in segmentation of digital images”, *Discrete Applied Mathematics*, v. 1, p. 1.
- Everingham, M., Van Gool, L., Williams, C. K. I., Winn, J., and Zisserman, A. (2011) “The PASCAL Visual Object Classes Challenge 2011 (VOC2011) Results” URL: <http://host.robots.ox.ac.uk/pascal/VOC/voc2011/index.html>.
- Farabet, C., Couprie, C., Najman, L., and LeCun, Y. (2013) “Learning hierarchical features for scene labeling”, *PAMI*, 1, 2, 4, 7, 8.
- Gupta, S., Girshick, R., Arbelaez, P., and Malik, J. (2014) “Learning rich features from RGB-D images for object detection and segmentation,” in *ECCV*, 1, 2, 8.
- Hariharan, B., Arbelaez, P., Girshick, R., and Malik, J. (2014) “Simultaneous detection and segmentation,” in *ECCV*, 1, 2, 4, 5, 7, 8, 9.
- Ng, E.Y.-K. (2009) “A review of thermography as promising non-invasive detection modality for breast tumor”, *International Journal of Thermal Sciences*, Volume 48, Issue 5, Pages 849-859, ISSN 1290-0729.
- NVIDIA DIGITS, (2016) “NVIDIA Deep Learning GPU Training System”. URL: <https://developer.nvidia.com/digits>. Accessed on September 10th of 2016.
- Pinheiro, P. H. and Collobert, R. (2014) “Recurrent convolutional neural networks for scene labeling,” in *ICML*, 1, 2, 4, 7, 8
- Shelhamer, E., Long, J. and Darrell, T. (2016) “Fully Convolutional Networks for Semantic Segmentation”. URL: <https://arxiv.org/pdf/1605.06211.pdf>. Accessed on 15th of 2016.
- Shelhamer, E., Long, J. and Darrell, T. (2015) “Pre-trained weights of the FCN, Python Code and Caffe”, URL: <https://github.com/shelhamer/fcn.berkeleyvision.org>. Accessed on October 8th of 2016.
- Silva, L. F., Saade, D. C. M., Sequeiros, G. O., Silva, A. C., Paiva, A. C., Bravo, R. S., Conci, A. (2014) “A New Database for Breast Research with Infrared Image”, *Journal of Medical Imaging and Health Informatics*, v.4, p.92 - 100.
- Visual Lab, Database of infrared images and segmentations done by specialists. Ground Truth of 285 images. URL: <http://visual.ic.uff.br/proeng/software.php>. Accessed on October 26th of 2016.

Análise de Técnicas Computacionais Usadas na Segmentação de Nódulos Pulmonares

Jorge Paulo Soares Rocha Filho, Paulo Eduardo Ambrósio

Programa de pós-graduação em Modelagem Computacional em Ciência e Tecnologia –
Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC)
Ilhéus – BA – Brasil

jorgepaulors@gmail.com, peambrosio@uesc.br

Abstract. According to WHO (World Health Organization) lung cancer is the most common cause of death by cancer and your early detection is directly related to the effectiveness of the treatment and with the chances of cure. One of the most used techniques to diagnose lung cancer involves digital image analysis obtained by conventional x-ray and computed tomography. Also image processing has been standing out as one of the research fields in ascension. This work aims the comparative analysis of different digital image processing techniques to identify and validate which of them are most applicable to the use for lung nodules segmentation on computed tomography scans. As its final objective, this work aims to describe and integrate the validated techniques to an open platform to support lung cancer diagnosis.

Resumo. O câncer pulmonar é a causa mais comum de mortes por câncer segundo a OMS (Organização Mundial de Saúde) e a sua detecção precoce está diretamente relacionada com a efetividade do tratamento e com as chances de cura. Uma das principais técnicas diagnósticas para essa doença envolve a análise de imagens digitais obtidas por raio-x convencional e tomografia computadorizada, sendo que o processamento computadorizado dessas imagens tem se destacado como um dos campos de pesquisa em grande ascensão. Este trabalho tem como objetivo a análise comparativa de diferentes técnicas de processamento digital de imagens, buscando identificar e validar quais delas são mais indicadas para a segmentação de nódulos pulmonares em imagens de tomografia computadorizada. Como objetivo final do projeto, o conjunto de técnicas validadas terão seus respectivos algoritmos descritos e integrados em plataforma aberta de apoio ao diagnóstico de câncer de pulmão.

Introdução

O diagnóstico do câncer pulmonar não deve ser feito somente utilizando um tipo de exame, pois cada um deles possui vantagens e grandes desvantagens. Os exames mais utilizados para a detecção das lesões são o raio-x da região do tórax e a tomografia computadorizada do pulmão, mas outros exames são muito importantes, justamente, por desvantagens que os exames principais apresentam. O raio-x é visto ainda como a

“chave” para a detecção de câncer de pulmão. Esse exame tem alta sensibilidade para tumores periféricos e baixo custo. A tomografia computadorizada é muito precisa, proporcionando informações de tamanho, localização e níveis de invasão do tumor. [Uehara *et al* 1998] Nesse contexto, verifica-se importantes e promissores estudos mais aprofundados com a tomografia computadorizada para que o processo de diagnóstico seja cada vez mais automatizado e simplificado e seja adquirida maior confiabilidade do resultado apresentado nesse exame. Espera-se que futuramente o exame seja suficiente para o diagnóstico e um processo automático para a análise das imagens da tomografia seria crucial para acelerar esse diagnóstico e, em cascata, aumentar as possibilidades de cura.

Segmentação de Imagens

As técnicas de segmentação de imagens utilizadas neste trabalho são técnicas de crescimento de regiões e de contorno ativo (snake).

Abordagens por contorno ativo fazem uso efetivo de informações prévias específicas dos objetos e isso torna os algoritmos intrinsecamente eficientes. Além disso, algoritmos de contorno ativo são aplicados em regiões específicas da imagem ao invés de serem aplicados na imagem inteira, o que faz a sua eficiência ser ainda maior.

As técnicas de crescimento de regiões consistem basicamente em agrupar pixels ou semi-regiões em regiões maiores baseados em determinada característica [Gonzalez *et al* 2009]. Com as tomografias computadorizadas, serão utilizados os níveis de cinza, pois as imagens são monocromáticas e os níveis de cinza são a característica disponível para caracterizar uma região.

Materiais e Métodos

Para o desenvolvimento deste trabalho foi utilizada a base de imagens disponibilizada pelo *Lung Image Database Consortium e Image Database Resource Initiative (LIDC-IDRI)* [Armato *et al* 2011]. A linguagem de programação utilizada para a implementação dos algoritmos de segmentação de imagens por crescimento de regiões e contorno ativo é o MATLAB.

As imagens tomográficas disponíveis na base LIDC-IDRI contam com a anotação de diagnóstico e segmentação manual de nódulos pulmonares realizada por especialistas. Para o desenvolvimento do trabalho foram selecionadas as imagens com indicação confirmada de nódulos, feita por especialistas, visando a adequada análise e validação das técnicas propostas e posterior comparação e integração em ambiente de apoio ao diagnóstico [Ferreira-Junior *et al* 2016].

Foram implementadas duas variações de contorno ativo e duas variações de crescimento de regiões. Essas quatro técnicas estão sendo aplicadas nas imagens previamente selecionadas para que a fase de comparações e análise das técnicas seja iniciada.

Resultados Parciais e Esperados

As quatro técnicas escolhidas para a análise e implementadas no MATLAB foram aplicadas em algumas imagens, previamente selecionadas para o estudo inicial, gerando

então as áreas segmentadas com o auxílio dos dados disponibilizados na base de imagens.

Na Figura 1 está o exemplo de uma das tomografias computadorizadas onde um nódulo foi identificado por especialistas e na Figura 2 estão os resultados das segmentações feitas por cada um dos métodos citados.

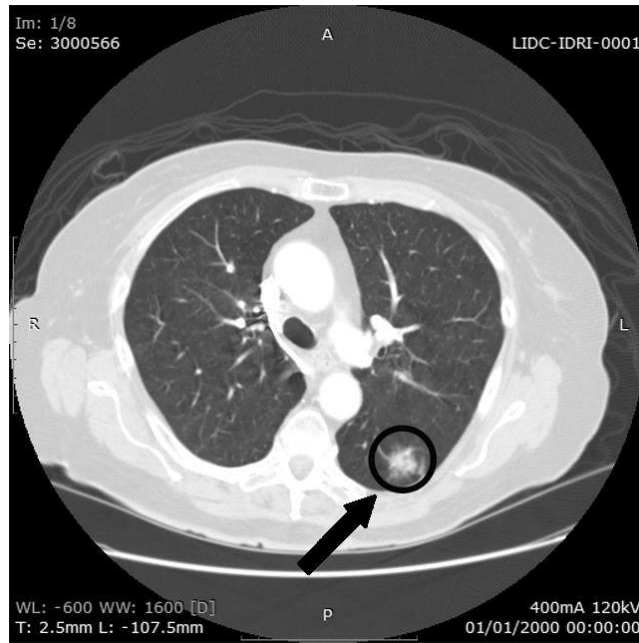


Figura 1. Imagem original de uma tomografia computadorizada que contém nódulo identificado por especialistas

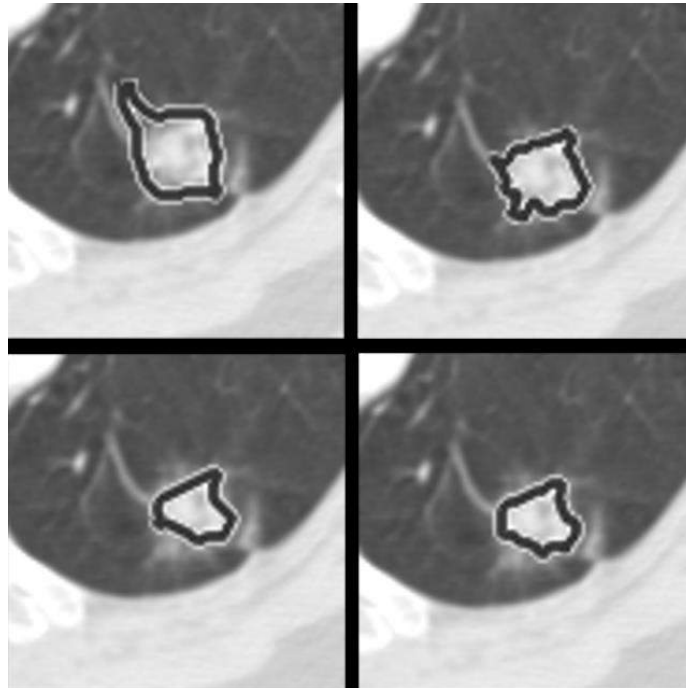


Figura 2. Resultados das segmentações por contorno ativo (superior esquerdo e superior direito) e por crescimento de regiões (inferior esquerdo e inferior direito).

Atualmente estão sendo realizadas as implementações dos métodos escolhidos para comparar e analisar as técnicas computacionais estudadas, em relação à segmentação feita manualmente pelos especialistas. As características das segmentações a serem comparadas são área e perímetro e além dessas duas características, será utilizada a informação do centróide da massa para que seja feita uma comparação por sobreposição das imagens.

Assim que todos os métodos de comparação tiverem sido implementados, será selecionado o grupo de imagens no qual as técnicas de segmentação serão aplicadas e, em seguida, devidamente analisadas atingindo os resultados finais esperados nesse trabalho.

Referências

- Uehara, C.; Jamnik, S. & Santoro, I.L. (1998) "Câncer de pulmão". Medicina: Ribeirão Preto, 31:266-276
- Gonzalez, R.C. and Woods, R.E. (2009) Processamento de imagens digitais. Pearson.
- Armato SG III, McLennan G, Bidaut L, McNitt-Gray MF, Meyer CR, Reeves AP, Zhao B, Aberle DR, Henschke CI, Hoffman EA, Kazerooni EA, MacMahon H, van Beek EJR, Yankelevitz D, et al. (2011) "The Lung Image Database Consortium (LIDC) and Image Database Resource Initiative (IDRI): A completed reference database of lung nodules on CT scans". Medical Physics, 38: 915-931.
- Ferreira-Junior, J.R., Oliveira, M.C. & Azevedo-Marques, P.M. (2016) "Cloud-based NoSQL open database of pulmonary nodules for computer-aided lung cancer diagnosis and reproducible research". Journal of Digital Imaging, 29:716-729.

Diferenciação de padrões de benignidade e malignidade em tecidos da mama baseado na diversidade taxonômica

Edson Damasceno Carvalho¹, Antônio Oseas de C. Filho¹, Alcilene D. de Sousa¹,
Patricia Vieira da S. Barros¹, Patrícia Medyna L. de L. Drumond¹

¹Campus Senador Helvídio Nunes de Barros – Universidade Federal do Piauí (UFPI)
Picos – PI – Brasil

{edsondamasceno11, antoniooseas, alcileneeluzsousa, petibarrosthe}@gmail.com

patymedy@hotmail.com

Abstract. *The breast cancer is a disease resulting from the multiplication of abnormal cells of the breast, forming the masses. The tracking through the mammography is the most promising way for the precocious diagnosis. This work presents a method of classification of malignant and benign breast tissues in mammography. In this method, we used texture descriptors based on phylogenetic indexes for extraction of characteristics, then made a classification using the classifiers: J48, RandomForest, J48Consolidated e LMT. The results reached an accuracy of 94,8%, sensibility of 92,9%, specificity of 96,5% and a ROC curve 0,988. The use of the phylogenetic indexes to describe patterns in areas of mammograms images was shown efficient in the categorization of malignant and benign.*

Resumo. *O câncer de mama é uma doença resultante da multiplicação de células anormais da mama, formando as massas. O rastreamento por meio da mamografia é o meio mais promissor para o diagnóstico precoce. Este trabalho apresenta um método de classificação de tecidos da mama em maligno e benigno em exames de mamografia. Neste método foram usados descritores de textura baseado em índices filogenéticos para extração de características, em seguida feita uma classificação usando os classificadores: J48, RandomForest, J48Consolidated e LMT. Os resultados alcançaram uma acurácia de 94,8%, sensibilidade de 92,9%, especificidade de 96,5% e uma curva ROC de 0,988. O uso dos índices filogenéticos para descrever padrões em regiões de imagens de mamografias mostrou-se eficiente na categorização de maligno e benigno.*

1. Introdução

Segundo o Instituto Nacional do Câncer (INCA), o câncer de mama é o mais comum entre as mulheres no mundo e no Brasil, depois do câncer de pele não melanoma, respondendo por cerca de 25% dos casos novos por ano [INCA 2016].

A detecção precoce do câncer de mama, em grande parte dos casos aumenta as chances de tratamento e cura, podendo ser realizado através da mamografia em mulheres que não possuem sinais e/ou sintomas da doença. No Brasil é recomendado que as mulheres entre 50 e 69 anos façam a mamografia a cada período de 2 anos, em casos que há um histórico de familiares com câncer de mama, deve haver um acompanhamento mais específico.

Com o uso da mamografia para detecção do câncer de mama, foi observada uma redução nas taxas de mortalidades em decorrência do mesmo. Vários fatores podem influenciar na sensibilidade do exame, afetando a qualidade do mesmo. Esses fatores resultam em possíveis erros de diagnósticos pelos radiologistas que podem variar de 10% a 30% dos casos [Braz Júnior 2014]. Na medicina o uso de imagens é um recurso muito importante para o diagnóstico de anomalias. O processamento digital de imagens estuda requisitos para extrair informações técnicas a fim de melhorar os parâmetros para um diagnóstico mais preciso, aumentando a interpretação da mamografia [Silva 2016].

No processamento digital de imagens, a análise de imagens de mamografias pode ser realizada através de textura e forma [Silva 2016]. A análise de textura é caracterizada por variações locais em valores de *pixels* que se repetem de maneira regular ou aleatória ao longo da imagem. A análise da forma caracteriza a geometria dos objetos, como o tamanho, a curvatura e a suavidade dos contornos.

A análise feita através de texturas é útil em aplicações, por se aproximar da avaliação feita pelo sistema visual humano. Cada textura possui um padrão de características. Em imagens mamográficas, atributos de texturas fornecem uma descrição dos *pixels* do tecido mamário, sendo muito importante para descrever tais regiões.

O trabalho proposto tem como objetivo apresentar o desenvolvimento de uma nova abordagem para classificação de tecidos da mama em maligno e benigno, usando os índices de diversidade filogenéticas para extração de características de textura, que foram responsáveis por caracterizar as regiões de interesse. Em seguida, foi feita uma classificação através de múltiplos classificadores.

Este trabalho está dividido como se segue: na Seção 2, são apresentados os trabalhos relacionados; na Seção 3 descreve-se a metodologia proposta; na Seção 4, são descritos os resultados da execução do projeto; e por fim, são apresentadas as conclusões na Seção 5.

2. Trabalhos Relacionados

Na literatura especializada, existem trabalhos relacionados à classificação de tecidos da mama em maligno e benigno em exames de mamografia. Para este propósito, utilizam-se características extraídas de imagens médicas, as quais servem como vetores de entrada para os classificadores.

Silva (2016) apresenta uma metodologia para classificação de massas em maligno e benigno, a qual utiliza a base DDSM (*Digital Database for Screening Mammography*). As características são extraídas utilizando as técnicas de *Local Binary Pattern (LBP)*, Função K de *Ripley* e os índices de *Shannon*, *Mcintosh*, *Simpson*, *Gleason* e de *Mehinick*, para extração das características de forma das imagens de mamografias. Para classificação utilizou a Máquina de Vetor de Suporte (SVM), onde as imagens foram divididas em quatro grupos de acordo com a sua densidade, e um quinto grupo contendo todas as imagens. Após os testes obteve como resultado, uma acurácia de 93,70%, sensibilidade 96,29% e especificidade 91,05% para o grupo de densidade 2. Como melhor resultado entre os quatro grupos de densidade, e uma acurácia de 90,18%, sensibilidade de 91,01% e especificidade de 89,94% para o quinto grupo, com todas as imagens.

Fahssi *et al.* (2015) apresenta uma abordagem para classificação das massas

mamárias em maligno e benigno, usando 111 imagens da base mini-MIAS (*Mini Mammographic Image Analysis Society*), sendo 60 benignas e 51 malignas. A abordagem utilizada consiste na Teoria da Transformação Ortogonal Adaptativa que calcula as características informativas das regiões de interesse. A classificação foi realizada por meio da comparação da similaridade entre os vetores das características das regiões de interesse pelo uso do coeficiente da matriz de correlação. Para avaliar a efetividade da metodologia, foram utilizadas as informações fornecidas pela *Mammographic Image Analysis Society* (MIAS), incluindo a classe de imagens e coordenadas de seus centros de regiões de interesse. A metodologia apresentou como resultado um percentual de 93,78% de sensibilidade e 94,54% de especificidade.

Melo *et al.* (2014) apresenta uma abordagem para classificação de massas em maligno e benigno em imagens de mamografias, utilizando a base de imagens DDSM. Foi realizada a segmentação das imagens utilizando um algoritmo baseado na técnica de crescimento de região e árvore de decisão. Os atributos foram extraídos a partir da forma das massas, utilizando a ferramenta *Matlab*. Para classificação, utilizou-se os algoritmos de aprendizagem de Máquina *Multilayer Perceptron*, o *Radial Basis Function Network (RBFN)*, *Naive Bayes*, *K-Nearest Neighbor (KNN)*, o *RandomForest* e o *Functional Trees (FT)*. Após os testes, obteve como melhor resultado, o classificador *Multilayer Perceptron*, apresentando uma acurácia de 85,09%. sensibilidade de 77,59% e especificidade de 89,32%.

Rocha (2014) usa LBP, Geoestatística e Índice de Diversidade para extração das características de textura das imagens de mamografias, utilizando a base DDSM. Para classificação das massas em maligno e benigno utilizou-se a Máquina de Vetor de Suporte (SVM). O melhor resultado obtido com os testes foram os valores de 92,20% para acurácia, 92,26% para sensibilidade, 91,26% para especificidade, 10,63 de razão de probabilidade positiva, 0,07% de razão de probabilidade negativa e uma área sob a curva ROC de 0,92.

Diante do que foi exposto nos trabalhos relacionados, verificou-se que houve a utilização de vários métodos para extração dos atributos, contando com a intervenção humana e, observou-se a necessidade de melhorar os resultados. Este trabalho tem como objetivo a classificação de massas em maligno e benigno, baseado em características do comportamento dentro de uma comunidade, como o parentesco entre espécies e sua riqueza.

3. Materiais e métodos

Para que fosse possível classificar massas em malignas e benignas em imagens de mamografias, foi empregada a seguinte metodologia: Primeiramente, foi feita a aquisição das imagens oriundas da base *Digital Database for Screening Mammography (DDSM)*. Seguindo, foi realizada a etapa de extração de características utilizando descritores baseados na textura, através dos índices de diversidade filogenéticas e para a classificação utilizados os classificadores *J48*, *RandomForest*, *J48Consolidated* e *LMT*. Na Figura 1 é apresentado um resumo de cada etapa.

3.1 Anatomia e Patologia da mama

A mama é formada principalmente por tecido granular, que é a parte responsável pela produção de leite durante o período de amamentação, constituído principalmente

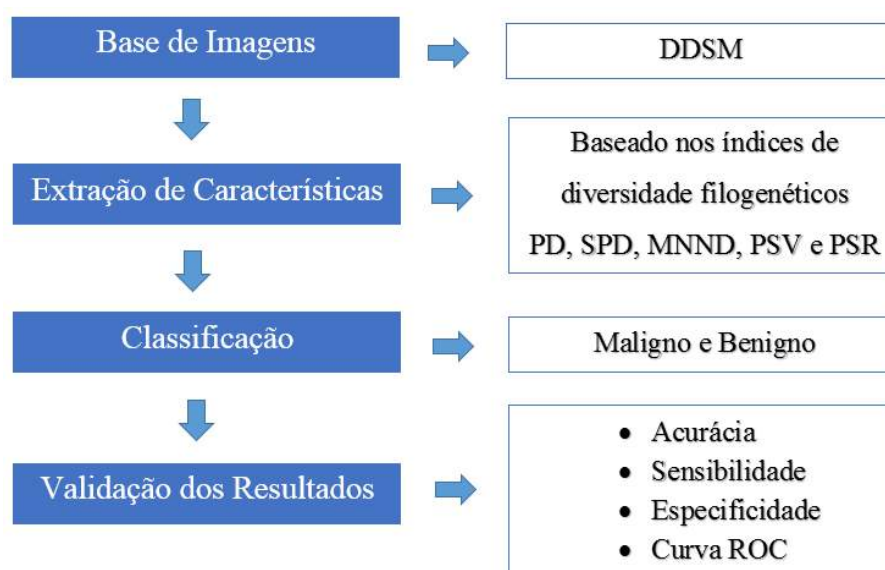


Figura 1. Metodologia proposta

por lóbulos, dutos e o tecido de suporte ou conjuntivo, composto por tecidos adiposos e conectivos fibrosos, responsáveis por manter a forma e sustentação da mama [Braz Júnior 2014]. Normalmente, o câncer de mama começa nas células dos lóbulos, ou nos dutos, menos frequentemente, nos tecidos que incluem a gordura e tecidos conjuntivos fibrosos [Silva 2016].

O câncer de mama é formado pela multiplicação de forma desordenada de suas células, formando um tumor maligno, que é um agrupamento de células cancerígenas que podem invadir tecidos adjacentes ou disseminar por outras partes do corpo, tendo como um dos principais fatores de risco o envelhecimento, apresentando uma taxa de 12,5% em mulheres com menos de 45 anos.

Já a Mamografia é a radiologia da mama, que tem por objetivo produzir imagens detalhadas das estruturas internas da mama, permitindo a detecção precoce do câncer, por ser capaz de mostrar lesões muito pequenas, ainda em seu estágio inicial [Silva 2016] e [Rocha 2014].

A mamografia trabalha com intervalos específicos de níveis de radiação, com a finalidade de registrar a imagem da mama, fornecendo uma ampla gama de densidade e maior resolução de contraste, sendo muito importante, devido as estruturas normais e doentes da mama possuírem uma diferença de contraste muito pequenas, com isso a mamografia realça tais diferenças, fornecendo uma resolução de alto contraste.

3.2 Base de Imagens

A base de imagens DDSM é uma base pública contendo imagens de mamografias, que tem como objetivo facilitar a pesquisa e desenvolvimento de algoritmos para ajudar no diagnóstico de anomalias da mama. A base DDSM foi uma doação do *Breast Cancer Research Program of the U.S. Army Medical Research and Materiel Comman*. O banco possui 2500 estudos. Cada estudo contém duas imagens de cada mama, juntamente com informações do paciente, tais como classificação da densidade da mama, sutileza para

anormalidades e informações de imagens, como resolução espacial e imagens contendo áreas suspeitas [Heath et al. 2000].

Este trabalho utiliza *Region of Interest* (ROI) extraídas de imagens da base DDSM, onde cada ROI possui apenas uma região de massa. Para a concretização desse trabalho, foram utilizadas 1155 ROIs de imagens de mamografias; sendo 625 ROIs com a presença de massa maligna e 530 ROIs com presença de massa benigna.

3.3 Índices de Diversidade Filogenética

A filogenia é um ramo da biologia responsável pelo estudo das relações evolutivas entre as espécies, pela verificação dos relacionamentos entre elas, a fim de determinar possíveis ancestrais comuns [Webb 2000]. Diversidade filogenética é uma medida de uma comunidade que incorpora as relações filogenéticas das espécies [Magurran 2004]. A forma mais simples da aplicação do índice de diversidade em imagens é quando a comunidade representa uma imagem ou região da mesma, as espécies sendo os níveis de cinza, os indivíduos sendo os pixels e as distâncias filogenética sendo os número de arestas entre duas espécies [Oliveira 2013].

Neste trabalho, são utilizados cinco índices de diversidade filogenética para extração dos descritores de textura: *Phylogenetic Diversity* (PD), *Sum of Phylogenetic Distances* (SPD), *Mean Nearest Neighbour Distance* (MNND), *Phylogenetic Species Variability* (PSV) e *Phylogenetic Species Richness* (PSR).

O índice de diversidade filogenética PD é o somatório dos comprimentos dos ramos da filogenia de cada espécie, mostrada na Equação 1, onde B é o número de ramificação da árvore, L_i é o comprimento do ramo e A_i é a abundância média de espécies que compartilham ramo i .

$$B \times \frac{\sum_i^B L_i A_i}{\sum_i^B A_i} \quad (1)$$

O índice de diversidade filogenética SPD é soma das distâncias filogenéticas entre cada par de espécies, que pode ser observado na Equação 2, onde d_{mn} é a distância entre as espécies m e n ; a_m , abundância de espécies m ; S , número de espécies no conjunto focal.

$$\left(\frac{S(S-1)}{2} \right) \times \frac{\sum \sum m < n^2 m n^a m^a n}{\sum \sum m < n^a m^a n} \quad (2)$$

O índice de diversidade filogenética MNND é a distância média do táxon mais próximo, definido na Equação 3. Onde d_{mn} é a distância entre as espécies m e n ; a_m , abundância de espécies m .

$$\sum_m^S m i n (d_{mn}) a_m \quad (3)$$

O índice de diversidade filogenética PSV é a variabilidade de espécies filogenéticas, que resume o grau em que as espécies em uma comunidade são filogeneticamente relacionadas, definido na Equação 4, onde, o trC representa a soma dos valores

da diagonal de uma matriz C , $\sum c$ é o somatório de todos os valores da matriz, n é o número de espécies e $'c$ é a média dos elementos da diagonal de C .

$$PSV = \frac{n \operatorname{tr} C - \sum c}{n(n-1)} = 1 - 'c \quad (4)$$

O índice de diversidade filogenética PSR é a riqueza de espécies e quantifica o número de espécies em uma comunidade. O valor do PSR é encontrado multiplicando-se o número de espécies n pela variabilidade da comunidade, pode-se verificar os parâmetros na Equação 5.

$$PSR = nPSV \quad (5)$$

3.4 Classificação

A classificação foi realizada pela suíte de algoritmos de mineração de dados e Aprendizado de Máquina WEKA, que contém ferramentas para pré-processamento de dados, classificação, regressão, agrupamento, regras de associação e visualização. A classificação também é adequada para o desenvolvimento de novos esquemas de Aprendizado de Máquinas [WEKA 2017].

Foram utilizados os algoritmos *J48* [Quinlan 1993], *RandomForest* [Breiman 2001], *J48Consolidated* [Pérez et al. 2007] e *LMT* [Landwehr et al. 2005], utilizando os parâmetros com os valores padrões em conjunto com a validação cruzada de *k-folds*, sendo $k = 10$; esse método que tem como finalidade dividir as características em 10 grupos, de forma a realizar o treino em 9 grupos e utilizando um grupo para testes, são realizados 10 cruzamentos sempre trocando o grupo de teste, ao final é gerado uma média, onde se configura o resultado.

Foram utilizados os classificadores *J48*, *J48Consolidated*, *LMT* e *RandomForest* devido a utilização de descritores baseados em comportamentos dentro de uma comunidade. Classificadores baseados em Árvores, são robustos em relação a ruídos, apresentando bons resultados na categorização de padrões de malignidade e benignidade em imagens médicas.

3.5 Validação dos Resultados

A fim de se considerar a presença ou ausência de massas malignas e benignas em imagens de mamografia, para validação dos resultados, utilizou-se de métricas de avaliação baseadas em estatísticas como, Sensibilidade (S) Especificidade (E) e Acurácia (A).

A matriz de confusão oferece uma hipótese das medidas efetivas do modelo de classificação, mostrando o número de classificações corretas versus as classificações preditas para cada classe, sobre um determinado conjunto de exemplo, como mostra a Tabela 1.

A sensibilidade (S), Equação 6, é a capacidade de um teste diagnóstico identificar os verdadeiros positivos nos indivíduos verdadeiramente doentes. Quando um teste é sensível raramente deixa de encontrar pessoas com a doença.

Tabela 1. Matriz de Confusão

Resultado do teste	Doença	
	Presente	Ausente
Positivo	VP Verdadeiro positivo	FP Falso Positivo
Negativo	FN Falso Negativo	VN Verdadeiro Negativo

$$S = \frac{VP}{VP + FN} \quad (6)$$

Especificidade (E), Equação 7, é a capacidade de um teste diagnóstico identificar os verdadeiros negativos nos indivíduos verdadeiramente sadios. Quando um teste é específico raramente cometerá o erro de dizer que pessoas sadias são doentes.

$$E = \frac{VN}{VN + FP} \quad (7)$$

Acurácia (A), Equação 8, é a proporção de acertos, ou seja, o total de verdadeiramente positivos e verdadeiramente negativos, em relação a amostra estudada.

$$A = \frac{VP + VN}{VP + VN + FP + FN} \quad (8)$$

A curva *Receiver Operating Characteristic (ROC)* é uma métrica de avaliação que compara o desempenho de duas ou mais modalidades de imagens. A área sobre a curva ROC representa a probabilidade de que, dado um caso positivo e um negativo, a regra do classificador vai ser mais elevada para o caso positivo. Quanto maior for a curva ROC, maior é a probabilidade do sistema fazer uma decisão correta [Silva 2016].

A curva ROC representa a dependência entre a sensibilidade e a especificidade de um classificador [Rocha 2014]. Cada ponto é representado por um par de valor, sensibilidade e especificidade, e a linha diagonal um classificador que não consegue discriminar, devido o número de VP ser igual ao percentual de FP, como representado na Figura 2.

4. Resultados e Discussões

Para os testes realizados neste trabalho, utilizou-se a base DDSM, descrita na Subseção 3.2. A extração de características de textura foi realizada a partir dos índices de diversidade filogenéticas como especificado na Subseção 3.3 e a classificação das massas em maligno e benigno, utilizou os classificadores e parâmetros definidos na Subseção 3.5.

De acordo com a Tabela 2, o classificador *RandomForest* obteve o melhor resultado, com uma taxa de acertos de 94,8%, uma sensibilidade de 92,9%, especificidade de 96,5% e uma curva ROC de 0,988, considerada ótima, indicando que o classificador apresenta boa capacidade de diagnóstico. A curva ROC apresentada pelo *RandomForest* indica que o classificador consegue detectar um número auto de casos positivos. As taxas

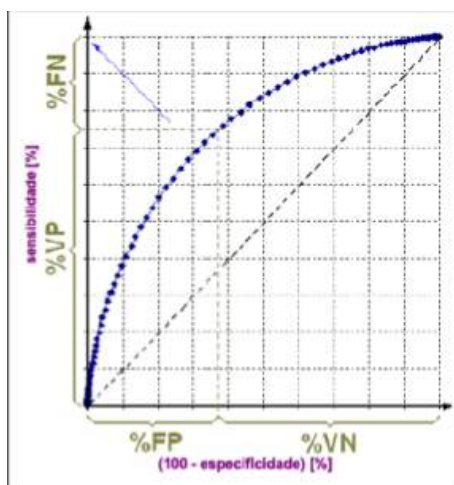


Figura 2. Representação da curva ROC. FONTE: [Rocha 2014]

Tabela 2. Resultados da classificação

Classificador	Base	Acurácia (%)	Sensibilidade (%)	Especificidade (%)	Curva ROC
J48	DDSM	93,7	91,6	95,5	0,957
J48Consolidated	DDSM	93,8	92,1	95,3	0,955
LMT	DDSM	93,8	92,1	95,3	0,971
RandomForest	DDSM	94,8	92,9	96,5	0,988

de erros apresentadas pelo *RandomForest* são muito baixos, devido ser mais robusta a presença de ruídos, possibilitando um melhor resultado na classificação.

O J48 apresentou o pior resultado, com uma taxa de acerto de 93,7% e curva ROC de 0,957. Um fator que leva a erros de classificação é a estrutura normal e doente da mama possuírem características muito parecidas, levando a classificar dados em classes diferentes. Como podemos observar na Tabela 2 o classificador *J48* foi capaz de identificar um número baixo de casos com doença, como mostra a sensibilidade de 91,6% e poucos casos saudáveis foram classificados como doentes, especificidade de 95,5%.

Tabela 3. Comparação da metodologia com os trabalhos relacionados

Trabalho	Base	Acurácia (%)	Sensibilidade (%)	Especificidade (%)	Curva ROC
Silva (2016)	DDSM	90,18	91,01	89,94	0,96
Melo <i>et al.</i> (2014)	DDSM	85,09	77,59	89,32	-
Fahssi <i>et al.</i> (2015)	MIAS	-	93,78	94,54	-
Rocha (2014)	DDSM	92,2	92,26	91,26	0,92
Metodologia	DDSM	94,8	92,9	96,5	0,988

Como pode-se observar na Tabela 3, a metodologia proposta utilizando os índices PD, SPD, MNND, PSV e PSR apresentou resultados melhores em relação aos trabalhos do estado da arte, com uma acurácia de 94,8%, sensibilidade de 92,9% e especificidade de 96,5%. A metodologia proposta apresentou um resultado bem significativo em relação ao

trabalho de [Melo et al. 2014] e em relação ao trabalho de [Fahssi et al. 2015] apresentou uma sensibilidade muito próxima e uma especificidade maior. Comparando a metodologia com os trabalhos de [Silva 2016] e [Rocha 2014] pode-se observar uma melhoria nos resultados obtidos. A curva ROC apresentada pela metodologia desenvolvida é maior que os demais trabalhos, indicando que a metodologia desenvolvida consegue detectar um número auto de casos positivos. Não é possível fazer uma comparação justa entre os trabalhos, primeiramente porque as bases não são as mesmas e nem apresentam o mesmo número de casos.

5. Conclusão

O uso de sistemas computadorizados para diagnósticos de anomalias em imagens médicas, vem se tornando cada vez mais frequente, visto que, em muitos casos, os dados serem de difícil avaliação por um especialista.

A análise de imagens de mamografias por meio dos Índices de Diversidade Filogenética, mostrou-se eficiente na categorização de regiões em maligno e benigno. A metodologia proposta neste trabalho apresentou uma taxa de acerto de 94,6%, sensibilidade de 92,9%, especificidade de 96,5% e uma curva ROC de 0,988. A metodologia desenvolvida consegue detectar um número auto de casos que são positivos, ou seja, possuem massas malignas, como mostra a curva ROC.

A partir dos resultados obtidos, pode-se inferir que a utilização de descritores baseados na textura, apresentam resultados eficazes na classificação de tecidos da mama em maligno e benigno. O uso de índices filogenéticos para descrever padrões em regiões de imagens mostrou-se eficiente para a metodologia proposta.

Referências

- Braz Júnior, G. (2014). Detecção de regiões de massas em mamografias usando índices de diversidade, geoestatística e geometria côncava. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal do Maranhão. São Luís - MA.
- Breiman, L. (2001). "Random forests". *Machine Learning*, v. 45, n. 1, p. 5-32.
- Fahssi, K. E., Elmoufidi, A., Abenaou, A., Jai-Andaloussi, S., e Sekkaki, A. (2015). Benign or malignant lesion classification in mammography images using the adaptive orthogonal transformation and the coefficients of the correlation matrix. *Recent Advances in Electrical Engineering*, ISBN: 978-1-61804-351-1.
- Heath, M., Bowyer, K., e Kopans, D. (2000). The digital database for screening mammography. *Citeseer, Proceedings of the 5th international workshop on digital mammography*. p. 212-218.
- INCA (2016). Tipos de câncer: mama. Disponível em: http://www2.inca.gov.br/wps/wcm/connect/tiposdecancer/site/home/mama/cancer_mama. Acesso em: 11/11/2016.
- Landwehr, N., Hall, M., e Frank, E. (2005). Logistic model trees. *Machine Learning*, 95(1-2):161-205.
- Magurran, A. E. (2004). Measuring biological diversity. *African Journal of Aquatic Science*; v. 29, n. 2, p. 285-286.

- Melo, M. C., Gajadhar, A., e Batista, L. V. (2014). Análise comparativa de métodos de aprendizagem de máquina para classificação de massas em mamografias. In: Congresso da Sociedade Brasileira de Computação - Workshop de Informática Médica, 2014, Brasília. Anais do XXXIV Congresso da Sociedade Brasileira de Computação - XIV Workshop de Informática Médica. Brasília: Universidade de Brasília. v. 1. p. 1772-1775.
- Oliveira, F. S. S. (2013). Classificação de tecidos da mama em massa e não-massa usando Índice de diversidade taxonômico e máquina de vetores de suporte. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Eletricidade da Universidade Federal do Maranhão. São Luís - MA.
- Pérez, J. M., Maguerza, J., Arbelaitz, O., Gurrutxaga, I., e Martín, J. I. (2007). Combining multiple class distribution modified subsamples in a single tree. *Pattern Recognition Letters*, 28(4): 414-422.
- Quinlan, R. (1993). *C4.5: programs for machine learning*. Morgan Kaufmann Publishers, San Mateo, CA.
- Rocha, S. V. (2014). Diferenciação do padrão de malignidade e benignidade de massas em imagens de mamografias usando padrões locais binários, geoestatística e Índice de diversidade. Tese de Doutorado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Eletricidade da Universidade Federal do Maranhão. São Luís - MA.
- Silva, T. F. (2016). Diferenciação do padrão de malignidade e benignidade de massas em mamografias utilizando características geométricas e máquina de vetor de suporte. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal do Maranhão. São Luís - MA.
- Webb, C. O. (2000). Exploring the phylogenetic structure of ecological communities: an example for rain forest trees. *The American Naturalist* 156.2, p. 145-155.
- WEKA (2017). Machine learning group at the university of waikato. Disponível em: <http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/>. Acesso em: 15 de Março de 2017.

Zika Gamification: Mobile Application for Endemic Disease Control Agents Training

Mateus O. Fonseca¹, Gilson P. dos Santos Júnior¹, Lauro B. Fontes¹,
Thiers Garretti R. Sousa¹

¹Coordenadoria do Bacharelado de Sistemas de Informação (CBSI)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe (IFS) – Campus Lagarto
Rua Cauby, nº 523. Bairro Jardim Campo Novo – Lagarto – SE – Brazil.

{gilson.pereira, lauro.fontes, thiers.sousa}@ifs.edu.br

Abstract. *The Endemic Disease Control Agents (ECAs) are the professionals responsible for preventing and fighting the Aedes Aegypti mosquito in the communities. These professionals must be trained by the qualification training course of ECAs. However, they report to the inefficiency in their training, mainly, to a low investments, educational events and the sharing of knowledge. This article presents Zika Gamification, a mobile application that is used to help in the training of ECAs in the municipality of Lagarto, Sergipe. The experiment was taken with 17 ECAs from the region showed that for more than 59% of the interviewed, the technical and pedagogical aspects were reached with the application.*

Resumo. *Os Agentes de Combate à Endemias (ACEs) são os profissionais responsáveis pela prevenção e pelo combate ao mosquito Aedes Aegypti nas comunidades. Estes profissionais devem ser capacitados pelo curso de formação profissional de ACEs. Entretanto, os agentes apontam a ineficiência na sua formação, principalmente, devido a falta de investimentos, de eventos educativos e do compartilhamento do saber. Este artigo apresenta o Zika Gamification, uma aplicação móvel gamificada para auxiliar no treinamento dos ACEs do município de Lagarto, Sergipe. O experimento realizado com 17 ACEs da região demonstrou que para mais de 59% do participantes os aspectos técnicos e pedagógicos foram atingidos com a aplicação.*

1. Introdução

Um dos grandes desafios do Brasil na área da saúde pública é o combate ao mosquito *Aedes Aegypti*. A rápida proliferação desse mosquito, capaz de se reproduzir em pequenos volumes de água parada, aumenta o número de casos da Dengue, da febre Chikungunya e do vírus Zika, principalmente no verão. É justamente nesta época que os Agentes de Combate à Endemias (ACEs) são mais atuantes.

Os ACEs são profissionais da saúde que trabalham na prevenção e no combate à endemias nas comunidades, bem como executam ações educativas com a população. De acordo com [Torres 2009], os ACEs são responsáveis por: vistoriar residências, depósitos, terrenos baldios e estabelecimentos comerciais em busca de focos endêmicos; inspecionar ralos, caixas d'água, calhas e telhados; aplicar larvicidas e inseticidas; e orientar a população quanto à prevenção e tratamento de doenças infecciosas.

Antes de iniciarem as atividades, os ACEs são submetidos ao curso de formação profissional, conforme estabelecido nas “Diretrizes e Orientações para o Programa de Qualificação dos Agentes de Combate a Endemias e demais Agentes que atuam na Vigilância em Saúde” [Ministério da Saúde 2011].

Embora existam diretrizes e orientações para capacitação, os ACEs relatam a falta de: investimentos no processo de qualificação; espaços físicos para encontros e eventos educativos; e compartilhamento do saber por parte dos coordenadores. Estes, por sua vez, apontam rotatividade de pessoal e falta de tempo decorrente da sobrecarga de trabalho como os motivadores para as fragilidades do treinamento [Fraga and Monteiro 2014]. Independente dos motivos, os relatos apontam a falta ou a ineficiência na formação dos Agentes de Combate à Endemias, o que afeta diretamente suas atribuições, dentre elas, o combate ao mosquito *Aedes Aegypti*.

Como alternativas para auxiliar o combate do mosquito *Aedes Aegypti*, alguns trabalhos têm focado no uso da gamificação como, por exemplo, [Oliveira Júnior et al. 2016], [Oliveira et al. 2016] e [Quintão 2016]. No entanto, nenhuma destas propostas visam auxiliar ou aprimorar a capacitação dos profissionais responsáveis por executar ações de combate ao vetor.

A gamificação consiste no uso de mecânica, ideias e estética de *games*, em contextos de não game, com intuito de engajar pessoas, motivar ações, promover o aprendizado e solucionar problemas [Kapp 2012]. Elementos dos jogos como: o *feedback* imediato e frequente, a motivação através da competição, o progresso visual por meio de emblemas, a liberdade de falhar, reiniciar e tentar novamente, aumentam o engajamento do aluno e o ajuda a aprender [Kapp 2012].

É neste contexto que o presente trabalho se propôs a desenvolver uma aplicação móvel gamificada, denominada *Zika Gamification*, para auxiliar no treinamento dos Agentes de Combate à Endemias do município de Lagarto, em Sergipe. Para tanto, foi necessário conhecer a forma de treinamento dos agentes da região e projetar o curso de formação dos agentes utilizando mecânicas, dinâmicas e técnicas da gamificação adequadas ao contexto de combate à endemias.

Com o *Zika Gamification* é possível mensurar o nível de conhecimento teórico dos Agentes de Combate à Endemias, bem como motivá-los a praticar os conceitos, reforçando o saber sobre alguns desses conceitos, lembrando outros e aprendendo novos. Além disso, a base de questões do treinamento é flexível e expansível, possibilitando a adição de novos assuntos e questões.

O restante do trabalho está organizado em cinco seções. A Seção 2 apresenta os principais trabalhos relacionados. Já a Seção 3 detalha a aplicação *Zika Gamification*. A Seção 4 descreve metodologicamente a avaliação da aplicação, enquanto que na Seção 5 são discutidos os resultados do estudo. Por fim, a Seção 6 conclui o documento, apresentando suas limitações e algumas opções de trabalhos futuros.

2. Trabalhos Relacionados

A gamificação vem sendo utilizada em aplicações educativas e de combate ao mosquito *Aedes Aegypti* nos últimos anos, a exemplo dos trabalhos de [Oliveira Júnior et al. 2016], [Quintão 2016] e [Oliveira et al. 2016].

[Oliveira Júnior et al. 2016] desenvolveram um jogo sério, educativo, para o combate à proliferação dos criadouros do mosquito *Aedes Aegypti*, o *Aedes Game*. Neste jogo, os jogadores respondem 20 questões de múltiplas alternativas e a cada resposta correta, o mosquito é acertado por uma raquete elétrica e foge para um novo cenário. Ao final, o jogador visualiza o seu nível de experiência e a quantidade de estrelas obtidas. De acordo com os autores, este jogo é considerado um *Social Gamification* visto a relevância do conteúdo existente.

Por sua vez, [Quintão 2016] projetou, também, um jogo sério e educativo, com o intuito de conscientizar as pessoas sobre a importância do combate a dengue, o X-Dengue. Entretanto, neste, o jogador deve eliminar os focos de dengue, proteger os amigos contra o ataque dos mosquitos, impedir a oviposição. O jogo apresenta mecanismos de gamificação como o sistema de recompensas, de pontuação, de *ranking* e de troca de moeda para customização.

Já [Oliveira et al. 2016] propuseram o “*AedesBusters*” uma aplicação móvel com uso de gamificação e *Crowdsourcing*, para facilitar a denúncia de focos de *Aedes Aegypti* e casos de doenças às Vigilâncias Ambiental e Epidemiológica de Campina Grande, na Paraíba. A gamificação foi utilizada pelos autores para incentivar as denúncias em troca de recompensas, conquistas e prestígio através do *ranking*.

3. Zika Gamification

O *Zika Gamification* é uma aplicação gamificada com perguntas de múltiplas escolha (*quiz*), apresentadas através de três tipos de hiper mídias (imagem, texto e vídeo), organizadas em módulos e etapas que abordam temas como: a história do *Aedes Aegypti* no Brasil, o ciclo de vida do mosquito, as doenças transmitidas por este vetor, as atribuições do ACEs, o Levantamento de Índice Rápido do *Aedes aegypti* (LIRAA¹) e o Programa Nacional de Controle da Dengue (PNCD).

A dinâmica do jogo possibilita a atribuição de pontos de experiência, de emblemas e do reconhecimento de níveis do Agente de Combate à Endemias a medida que este evolui no treinamento. A qualquer momento, o jogador pode visualizar o seu *status* ou comparar seu desempenho com os demais agentes através do sistema de *ranking*. O *ranking* foi adicionado como uma estratégia extrínseca de motivação social, semelhante ao utilizado por [Oliveira et al. 2016], no qual se espera que a busca pelo reconhecimento público favoreça e incentive o aprendizado. O *feedback* ao jogador é imediato por cada etapa concluída, favorecendo o aprendizado dos conceitos abordados.

A aplicação foi construída para plataforma *Android 6.0 Marshmallow*, utilizando a ferramenta *Android Studio* e o banco de dados *Firestore*. A arquitetura da aplicação foi projetada para permitir a sua expansão e inclusão de novos módulos, etapas e questões. Atualmente, o jogo possui 50 questões organizadas em 4 módulos, sendo que o módulo 1 e 4 possuem 2 etapas, enquanto os módulos 2 e 3 são constituídos por 3 etapas.

3.1. Interface da aplicação

Ao iniciar a aplicação é solicitada a autenticação do jogador previamente cadastrado. Uma vez autenticado, a aplicação apresenta à tela de “Boas vindas” (Figura 1(a)), nela o

¹ O LIRAA é uma metodologia para mapeamento dos locais com altos índices de infestação do mosquito *Aedes aegypti*.

jogador terá de escolher o botão de Treinamento, *Status* ou *Ranking*.

Caso selecione a opção de treinamento, na tela de Principal, o jogador visualizará os módulos do treinamento (Figura 1(b)). Ao selecionar o módulo, serão exibidas as etapas que o compõe (Figura 1(c)).



Figura 1. Telas de Treinamento do Zika Gamification.

As etapas são constituídas por questões objetivas sobre o curso de formação de ACEs. As questões podem ser exclusivamente textuais, possuir imagens (Figura 2(a)) ou vídeos (Figura 2(b)). Nas questões com vídeos, o *Zika Gamification* abre uma nova janela, com o intuito de melhorar a experiência do usuário durante a visualização (Figura 2(c)).

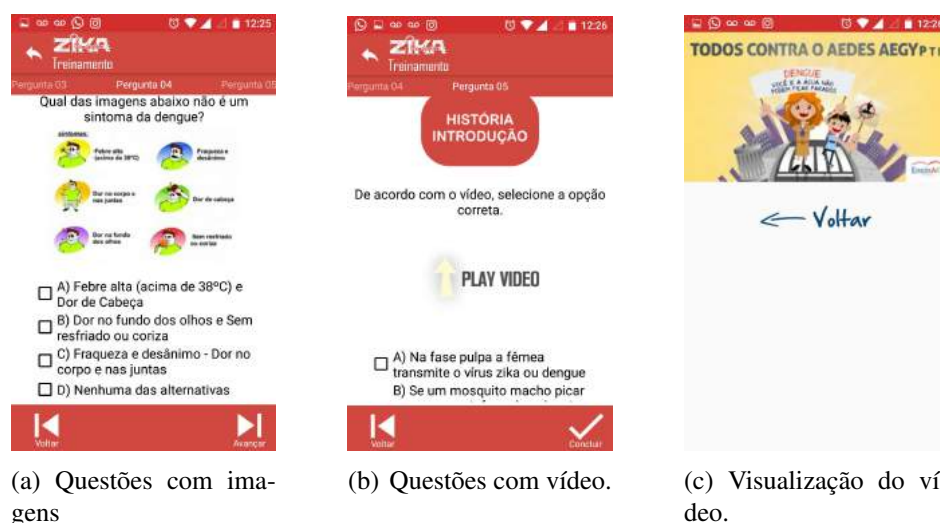


Figura 2. Apresentação das Questões.

Ao conquistar a etapa do módulo, isto é, ao responder todas as questões da etapa atual, a aplicação exibe à medalha conquistada pelo jogador, o total de questões e acertos, conforme apresentado na Figura 3(a). A medalha obtida pode ser: bronze, quando ocorreu apenas 1 acerto; prata, ao obter 2 ou 3 acertos; ouro, quando 4 ou mais questões

foram respondidas corretamente. Uma vez conquistada com perfeição todas as etapas dos módulos, o jogador estará apto a exercer as atividades em campo, visto que conhecerá o conteúdo do curso de formação.



(a) Resultado da etapa.



(b) Status do jogador.



(c) Ranking do treinamento.

Figura 3. Telas de desempenho do jogador.

A qualquer momento o jogador pode acompanhar seu desempenho individual, visualizando a experiência obtida, o nível alcançado, o total de pontos e os módulos conquistados, conforme Figura 3(b). É possível ainda comparar o seu desempenho com os demais jogadores na tela de *ranking* (Figura 3(c)).

4. Materiais e Métodos

O *Zika Gamification* foi avaliado segundo critérios estabelecidos no instrumento construído por [Rodrigues 2014], baseado na literatura de [Gladcheff 2001] e [Savi et al. 2011]. Este instrumento é composto por questões que avaliam os aspectos técnicos e pedagógicos, além da opinião do aluno sobre o jogo. Diferente da abordagem dos autores, neste trabalho todos os critérios foram avaliados por Agentes de Combate à Endemias.

O formulário de avaliação foi construído no *Google Forms* e era composto por questões fechadas, mapeadas na escala Likert [Likert 1932] de 5 itens, variando de -2 (discordo fortemente) até +2 (concordo fortemente), sendo o item central considerado indiferente (nem concordo e nem discordo). Nele, existiam 4 perguntas sobre informações pessoais (idade, nível de escolaridade, função e participação em treinamento para ACEs) e 16 questões, não obrigatórias, sobre a aplicação. Na Tabela 1 estão descritas as perguntas sobre a aplicação. O formulário ficou disponível no *Google Forms* para os ACEs do Zoonose do município de Lagarto/SE, durante a primeira quinzena do mês de fevereiro de 2017. Os avaliadores foram instruídos a utilizar o *Zika Gamification* por 30 minutos, no mínimo, antes de responderem o questionário.

Durante o experimento, a aplicação foi executada em um *smartphone Samsung J5 Duos*, com processador *Quad Core 1.2 Ghz*, 16GB de ROM, 1.5 GB de RAM e tela Super

AMOLED de 5.0”, suportando uma resolução de 1280 x 720 *pixels*. O sistema operacional instalado no *hardware* era o *Android 6 Marshmallow*.

Para interpretação dos dados foi utilizada a frequência das respostas e a moda, que indica o item mais frequente, isso porque a escala Likert trabalha com dados ordinais. Em algumas análises as respostas de concordo parcialmente e fortemente foram agrupadas, a fim de analisar a frequência de participantes que concordavam com a afirmação.

5. Discussão dos Resultados

Antes da análise da aplicação é importante conhecer o perfil dos avaliadores, neste caso, os 17 ACEs que participaram do experimento. Na Figura 4 estão sumarizadas as principais informações sobre os agentes.

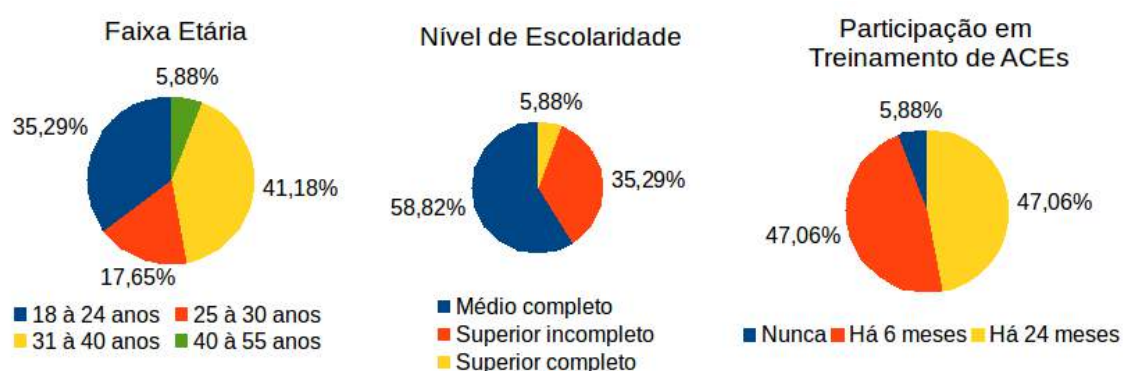


Figura 4. Informações dos entrevistados.

Conforme apresentado na Figura 4, durante o experimento, 94,12% dos entrevistados estavam na faixa etária entre 18 e 40 anos, sendo que 35,29% eram jovens de 18 à 24 anos e 41,18% possuíam mais de 31 anos de idade. Este fato indica uma equipe heterogênea, constituída por jovens e adultos experientes. O nível de escolaridade é o mínimo exigido pelo cargo, uma vez que 94,12% possuíam nível médio, sendo que 35,29% buscaram melhorar o seu nível escolar, mas, ainda não concluíram o Ensino Superior.

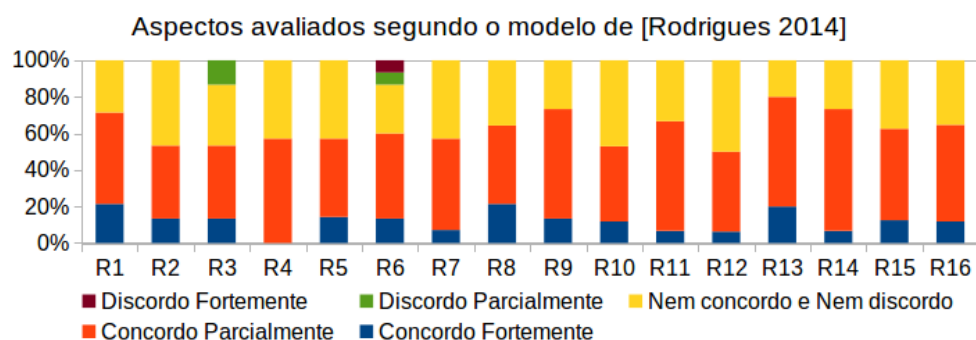
Com relação a participação do treinamento para o cargo de Agente de Combate a Endemia, 47,06% dos entrevistados participaram do treinamento recentemente, nos últimos 6 meses, enquanto outros 47,06% cursaram nos últimos dois anos. Um dado preocupante neste quesito foi a informação de que um dos agentes nunca participou do treinamento, mesmo sendo requisito para execução das atividades do cargo, conforme demonstrado na Figura 4.

A análise dos aspectos técnicos e pedagógicos, bem como da opinião do aluno foi efetuada a partir dos dados apresentados na Tabela 1 e na Figura 5.

Com relação aos aspectos técnicos, 71,4% dos participantes julgaram os recursos midiáticos (som, imagem, vídeo) e colorido da *interface* adequados ao propósito, visto que 21,4% concordaram fortemente com esta afirmação (R1). Além disso, 53% dos entrevistados confirmaram a fluidez durante a execução do *Zika Gamification* (R2), ou seja, o *software* não apresentou lentidão ou "engasgos" durante o uso. O estudo dos aspectos técnicos demonstraram ainda que 2 entrevistados tiveram problemas ao "pausar", "parar" ou "voltar" a partida, embora 53% discordem deste pensamento (R3). O interessante

Tabela 1. Avaliação do Zika Gamification segundo modelo de [Rodrigues 2014]

Aspectos	ID	Descrição	2	1	0	-1	-2
Técnicos	R1	Existe no jogo equilíbrio entre os recursos de som, animação, cores, quantidade de informações e outras mídias.	3	7	4	0	0
Técnicos	R2	O jogo apresenta sucesso de execução, como por exemplo: rápido carregamento e download, não apresenta travamento, entre outros.	2	6	7	0	0
Técnicos	R3	É possível ao Agente “pausar”, “parar” ou “voltar” uma vez iniciada a partida.	2	6	5	2	0
Pedagógicos	R4	O jogo trabalha aspectos necessários para atender o objetivo proposto	0	8	6	0	0
Pedagógicos	R5	No jogo são apresentadas situações que remetem a vida cotidiana do Agente de Endemias ou contexto real.	2	6	6	0	0
Pedagógicos	R6	Há possibilidade de interação entre os Agentes, como: troca de experiência ou trabalho cooperativo.	2	7	4	1	1
Pedagógicos	R7	Desperta o interesse do Agente pelo conteúdo trabalhado, de forma inteligente e envolvente.	1	7	6	0	0
Pedagógicos	R8	É desafiador, pois motiva o aluno a resolver as situações propostas.	3	6	5	0	0
Pedagógicos	R9	O jogo oportuniza a interação com o aluno, permitindo ao mesmo explorar seus conhecimentos.	2	9	4	0	0
Pedagógicos	R10	O jogo apresenta de modo adequado, um reforçador positivo para as respostas corretas.	2	7	8	0	0
Pedagógicos	R11	As atividades são desenvolvidas de forma a aumentar gradativamente as dificuldades e desafios propostos.	1	9	5	0	0
Pedagógicos	R12	Quando o aluno erra o feedback do jogo é agradável, não constrangedor.	1	7	8	0	0
Opinião	R13	Gostei da animação, das cores e do som que o jogo tem.	3	9	3	0	0
Opinião	R14	Achei o jogo interessante, pois teve desafios.	1	10	4	0	0
Opinião	R15	Vou lembrar do que aprendi no jogo quando estiver executando meu trabalho de agente.	2	8	6	0	0
Opinião	R16	Gostaria de jogar novamente este jogo.	2	9	6	0	0

**Figura 5. Sumarização dos resultados da avaliação.**

neste caso é que o jogador pode realizar tais operações normalmente, exceto durante o processo de resposta de uma etapa. Logo, acredita-se que estes jogadores gostariam de interromper o progresso durante a etapa e continuar em seguida.

Sobre os aspectos pedagógicos, conforme apresentado na Tabela 1 e na Figura 5, 57,14% concordaram que a aplicação gamificada atingiu o objetivo proposto de auxiliar

no aprendizado das atividades do cargo de ACEs (R4) e que despertou o interesse dos agentes pelo conteúdo trabalhado de forma inteligente e envolvente (R7). Além disso, 73,34% dos entrevistados concordaram que o *Zika Gamification* permitiu explorar o conhecimento sobre o tema (R9), sendo que 57,14% confirmaram que a aplicação apresentou situações que remetem ao cotidiano da prática de um agente (R5). Estes quesitos sugerem que o entrevistado se sentiu motivado e interessado a utilizar a aplicação para aprender ou relembrar o conteúdo de forma lúdica e divertida, ao invés de estudar exclusivamente através das apostilas do curso.

O *Zika Gamification* foi desafiador para 64,28% dos participantes (R8), sendo que 66,67% concordaram que o grau de dificuldade aumentou gradativamente ao longo do tempo (R11). O uso de desafios ajustados ao nível do jogador e a evolução gradativa de dificuldade ajudam a prender a atenção no jogo e favorecerem o aprendizado, uma vez que os jogadores normalmente desistem quando encaram desafios muito difíceis, que os impedem de evoluir, ou quando encontram desafios muito fáceis, que os desestimulam ao longo do tempo por não desafiá-los.

Com relação ao *feedback*, 52,94% afirmaram que a aplicação emitiu reforços positivos para respostas corretas (R10) e 50% disseram que o *feedback* não foi constrangedor para os erros cometidos (R12). Analisar a qualidade do *feedback* é fundamental em uma aplicação com propósitos educacionais, pois a qualidade deste impacta na aprendizagem e pode desestimular o estudante, fazendo-o perder o interesse pelo assunto.

No quesito R6, que versa sobre troca de experiências ou trabalho cooperativo, esperava-se que os participantes discordassem da afirmação, uma vez que o *Zika Gamification* não implementa tal característica. Entretanto, inesperadamente, apenas 13,34% dos entrevistados discordaram parcialmente ou fortemente da afirmação. Acredita-se que os ACEs confundiram a interação natural entre eles, motivada pelo entusiasmo da aplicação, com a possibilidade de interação oferecida pela aplicação. De qualquer forma, se a aplicação incentivou à troca de experiência ou o trabalho cooperativo há um ganho indireto no aprendizado e demonstra que tal característica deve ser adicionada futuramente.

Ressalte-se ainda que 80% dos ACEs gostaram das animações, das cores e dos sons da aplicação (R13) e 73,34% acharam interessantes os desafios propostos (R14), sendo que 64,7% jogariam novamente (R16). Agradar um público-alvo heterogêneo, constituído por pessoas de 18 a 55 anos, é muito difícil e, neste caso, observa-se que os participantes gostaram da aplicação e jogariam novamente. Logo, é possível que o *Zika Gamification* seja realmente utilizado pelos agentes, caso seja empregado e passe a fazer parte do módulo de treinamento do setor.

Outro dado importante é o fato de que 62,5% dos participantes afirmaram que lembrarão do que aprenderam com o *Zika Gamification* durante a execução das suas atividades práticas. Embora este resultado não seja preciso, por demonstrar apenas o sentimento dos ACEs sobre o fato de recordar futuramente do que foi estudado, aponta que eles acreditaram na proposta do treinamento gamificado e no aprendizado de forma lúdica.

De modo geral, conforme apresentado na Figura 6, 59,09% dos participantes concordaram que os aspectos técnicos atendem ao propósito da aplicação, quando se trata de recursos midiáticos, fluidez da execução e possibilidade de parar e retomar o progresso, embora 4,55% discordem parcialmente desta afirmação. Já nos aspectos pedagógicos,

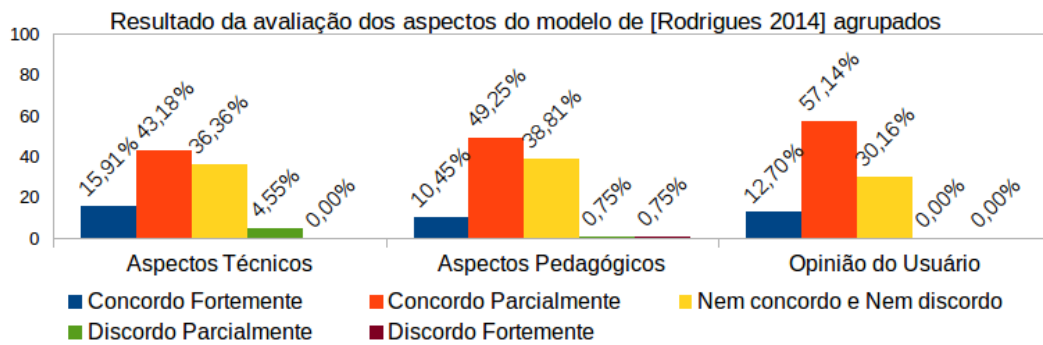


Figura 6. Resultado agrupado da avaliação.

59,70% confirmaram que o objetivo educacional da aplicação, os conteúdos, os desafios e os *feedbacks* fornecidos foram adequados ao público-alvo. Na opinião geral, 69,84% dos ACEs, afirmaram que o jogo vai ajudar a lembrar o conteúdo durante a execução da atividade, portanto, gostariam de jogar novamente.

Por fim, é importante destacar na Tabela 1 e na Figura 5 que somente o critério R6 obteve nota discordo parcialmente ou fortemente na avaliação, totalizando apenas 2 votos de um total de 241, ou seja, menos de 1% dos votos. Este fato ressalta a importância da aplicação para o público-alvo e aponta indícios da sua qualidade.

6. Considerações Finais

Os Agentes de Combate à Endemias (ACEs) são os responsáveis por combater a proliferação do mosquito *Aedes Aegypti*, vistoriando os locais, aplicando larvicidas e inseticidas e orientando a comunidade quanto à prevenção de doenças como a Dengue, a Chikungunya e o Zika. Para obter sucesso no combate ao vetor é primordial que os ACEs se capacitem no curso de formação profissional definido pelo [Ministério da Saúde 2011]. Entretanto, os próprios agentes apontam a ineficiência na sua formação. Neste sentido, o artigo apresentou uma aplicação móvel gamificada, denominada *Zika Gamification*, para auxiliar no treinamento dos Agentes de Combate à Endemias do município de Lagarto/SE.

O *Zika Gamification* permite aos jogadores conhecer a história do *Aedes Aegypti* no Brasil, aprender sobre o mosquito e as doenças transmitidas por ele, entender as atribuições do ACEs, o LIRAA e o PNCD. A aplicação gamificada também motiva os jogadores a evoluírem no estudo, fornecendo *feedback* através de pontos, experiências e medalhas, além de estimular a competição entre os ACEs em busca do aprendizado, no qual todos evoluem, aprendem e vencem.

A aplicação foi avaliada por 17 ACEs do setor de Zoonose do município de Lagarto/SE e constatou-se que a interface e os recursos midiáticos da aplicação agradaram os agentes, não apresentando problemas de lentidão ou travamento durante o uso; que o jogo é desafiador e remete ao cotidiano da prática de um agente; e que eles lembrarão das lições aprendidas no jogo durante a execução das suas atividades práticas.

Embora o estudo realizado aponte fortes indícios de que o *Zika Gamification* atingiu o propósito de auxiliar no treinamento dos ACEs, é importante ressaltar a falta de um estudo controlado, com intuito de mensurar a capacidade de auxílio no aprendizado das atribuições do agente. Portanto, julga-se necessário realizar futuramente um estudo mais

aprofundado, no qual será comparado o grupo de controle ao experimental para testar a hipótese.

Futuramente, pretende-se ainda: permitir que o jogador possa “pausar”, “parar” ou “voltar” durante o processo de respostas de uma etapa; estudar e implantar mecanismos de *feedback* mais adequados aos ACEs, com intuito de melhorar a avaliação do jogo neste quesito e favorecer o aprendizado; incluir o sistema de troca de recompensas, a fim de motivar ainda mais a participação dos agentes; e adicionar recursos que possibilitem a troca de experiências ou o trabalho cooperativo no *Zika Gamification*.

Referências

- [Fraga and Monteiro 2014] Fraga, L. d. S. and Monteiro, S. (2014). A gente é um passador de informação: práticas educativas de agentes de combate a endemias no serviço de controle de zoonoses em belo horizonte, mg. *Saúde e Sociedade*, 23(3):993–1006.
- [Gladcheff 2001] Gladcheff, A. P. (2001). *Um instrumento de avaliação da qualidade para software educacional de matemática*. PhD thesis, Universidade de São Paulo.
- [Kapp 2012] Kapp, K. M. (2012). *The gamification of learning and instruction: game-based methods and strategies for training and education*. John Wiley & Sons.
- [Likert 1932] Likert, R. (1932). A technique for the measurement of attitudes. *Archives of psychology*.
- [Ministério da Saúde 2011] Ministério da Saúde, B. (2011). Diretrizes e orientações para o programa de qualificação dos agentes de combate as endemias e demais agentes que atuam em vigilância em saúde. Technical report, Secretaria de Gestão do Trabalho e da Educação na Saúde. Departamento de Gestão da Educação na Saúde. Ministério da Saúde. Brasil.
- [Oliveira et al. 2016] Oliveira, R., Moura, A., Barros, M., Cavalcante, A., and Junior, F. (2016). Gamificação e crowdsourcing no combate sustentável ao aedes aegypti. In *Brazilian Symposium on Computers in Education (Simpósio Brasileiro de Informática na Educação-SBIE)*, volume 27, page 390.
- [Oliveira Júnior et al. 2016] Oliveira Júnior, J. F., Tubelo, R. A., Gradella, G., and Machado, J. (2016). O design da informação aplicado ao desenvolvimento da interface gráfica de um jogo sério sobre o combate ao mosquito aedes aegypti. *J Bras Tele*, 4(2):246–254.
- [Quintão 2016] Quintão, M. S. (2016). X-dengue: game design e estratégias de gamificação de um jogo educativo sobre a dengue.
- [Rodrigues 2014] Rodrigues, G. C. F. S. (2014). Instrumento de avaliação de jogos eletrônicos educativos do ensino fundamental i. Master’s thesis, Programa de Pós-Graduação em Linguística e Ensino do Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes da Universidade Federal da Paraíba, Paraíba.
- [Savi et al. 2011] Savi, R., Wangenheim, C., and Borgatto, A. (2011). Um modelo de avaliação de jogos educacionais na engenharia de software. *Anais do XXV Simpósio Brasileiro de Engenharia de Software (SBES 2011)*, São Paulo.
- [Torres 2009] Torres, R. (2009). Agente de combate a endemias. *Revista Poli - Saúde, Educação e Trabalho*, 3(1).

Avaliação da conformidade do e-SUS AB PEC segundo a certificação da SBIS/CFM

Rodrigo Barbalho, Lucas Postal, Raul Sidnei Wazlawick

Laboratório Bridge – Centro Tecnológico – Universidade Federal de Santa Catarina
(UFSC)

Caixa Postal 476 – 88010-970 – Florianópolis, SC – Brasil

{rodrigo.barbalho, postal, raul}@bridge.ufsc.br

***Abstract.** In the health information registry, the Electronic Health Record System (EHRs) and the Electronic Patient Record (EPR) have been gaining ground. Maintaining data security and confidentiality is a challenge. Then, SBIS joined forces with CFM and created the certification model for EHRs. This paper evaluates the e-SUS AB PEC system provided by the Ministry of Health (MH) regarding its compliance with the requirements of Structure, Content and Functionality and Security Assurance Level 1 (SALI). For this purpose, a scale for conformity classification has been defined. Then the tests provided in the manual of tests and analyzes were applied, where it was found that only 32.5% of the requirements were classified as fully implemented.*

***Resumo.** No registro de informações de saúde, o Sistema de Registro Eletrônico de Saúde (S-RES) e Prontuário Eletrônico do Paciente (PEP) vêm ganhando espaço. Manter a segurança e a confidencialidade dos dados é um desafio. Então, a SBIS¹ uniu forças com o CFM² e criaram o modelo de certificação para S-RES. Este trabalho avalia o sistema e-SUS AB PEC³ fornecido pelo Ministério da Saúde (MS) quanto a sua conformidade em relação aos requisitos de Estrutura, Conteúdo e Funcionalidades e Nível de Garantia de Segurança 1 (NGS1). Para isso, foi definida uma escala para classificação da conformidade. Em seguida foram aplicados os testes disponibilizados no manual de ensaios e análises onde foi constatado que apenas 32,5% dos requisitos foram classificados como totalmente implementado.*

1. Introdução

Registro Eletrônico em Saúde (RES) é um repositório de informação a respeito da saúde de indivíduos, numa forma processável eletronicamente. Sistema de Registro Eletrônico de Saúde (S-RES) é um sistema para registro, recuperação e manipulação das informações de um RES [ABNT, 2008][ABNT, 2013]. Um Prontuário Eletrônico é um exemplo de S-RES e contém informações sobre a saúde passada, presente e futura e as condições físicas e mentais de um indivíduo. Essas informações residem em um computador no qual é utilizado para captar, transmitir, receber, armazenar, distribuir, interligar e manipular dados para os principais objetivos de um serviço de atenção à saúde [Murphy, Hanken e Waters, 1999].

¹ Sociedade Brasileira de Informática em Saúde

² Conselho Federal de Medicina

³ Sistema de Prontuário Eletrônico do Cidadão para Atenção Básica

A principal função de um prontuário eletrônico é apoiar os usuários através da acessibilidade aos dados completos e exatos, de alertas, lembretes, notificações, sistemas de apoio à decisão clínica e dos vínculos ao conhecimento médico.

O Ministério da Saúde (MS), com o objetivo de informatizar os sistemas de saúde no território nacional, criou a Política Nacional de Informação e Informática em Saúde (PNIIS)[Ministério da Saúde, 2016] e como parte dela estabeleceu a estratégia e-SUS Atenção Básica (AB). A estratégia é composta de um conjunto de ações que tem como objetivo melhorar a qualidade da informação em saúde através de uma série de políticas.

Dentro da estratégia e-SUS AB, surge o Prontuário Eletrônico do Cidadão (PEC), como um dos pilares dessa política. Esse sistema é desenvolvido e distribuído gratuitamente para todos os municípios brasileiros para informatizar as Unidades Básicas de Saúde (UBS). No contexto de sistemas de informação de saúde, critérios como segurança, confiabilidade, confidencialidade e legalidade do registro eletrônico de saúde, tornam-se fundamentais.

Com interesse na qualidade dos S-RES e também visando garantir a qualidade desses sistemas e das informações geradas através deles, associações médicas de vários países trabalham em modelos para realizarem avaliações da qualidade de sistemas de saúde, como é o caso do *Electronic Medical Record Adoption Model (EMRAM)*⁴, desenvolvido pela *Health Information and Management Systems Society (HIMSS)*, nos Estados Unidos. Este modelo classifica os sistemas em 7 níveis de acordo com a sua capacidade de implementar funções de registros eletrônicos de saúde. O objetivo é auxiliar hospitais que queiram adotar sistemas de informação ou que pretendem melhorar a sua gestão com base neste modelo reconhecido mundialmente.

No Brasil, a Sociedade Brasileira de Informática em Saúde (SBIS), em conjunto com o Conselho Federal de Medicina (CFM), vêm trabalhando ao longo dos anos em normas e padrões para melhorar a qualidade das informações em sistemas de informação em saúde. A resolução nº 1821/2007, citou pela primeira vez um Manual de Certificação para S-RES. Era o início de uma política focada em melhorar a qualidade de sistemas de informação em saúde no território nacional. Mais tarde, isso gerou todo o processo de certificação de sistemas de saúde, realizado pela SBIS.

Além de permitir a avaliação de S-RES existentes, o modelo de certificação da SBIS/CFM também pode ser utilizado para nortear o desenvolvimento de novos S-RES. Em Garcia *et al.* (2010), foi elaborada a modelagem de um S-RES considerando os requisitos obrigatórios para obtenção da certificação. Em Virginio *et al.* (2014), foi realizada a avaliação do S-RES de um hospital universitário, em uma cidade no interior de São Paulo, também de acordo com os requisitos da certificação SBIS/CFM.

Em César *et al.* (2016) foi realizada a avaliação do e-SUS AB, versão de treinamento disponibilizada pelo Ministério da Saúde. Foram considerados os requisitos de Estrutura, Conteúdo e Funcionalidades e Nível de Garantia de Segurança 1 da certificação SBIS/CFM versão 3.3. No entanto, os autores não evidenciaram a versão do

⁴ <http://www.himssanalytics.org/emram>

PEC que foi utilizada para testes, se utilizaram o e-SUS AB PEC ou CDS, ou se foram avaliados todos os requisitos obrigatórios e recomendados.

O objetivo desta pesquisa foi de avaliar a conformidade do e-SUS AB PEC versão 2.1.08 de 2016 fornecido pelo Ministério da Saúde com o modelo de certificação da SBIS/CFM através da implementação dos cenários de teste descritos no Manual Operacional de Ensaio e Análises [SBIS, 2016b], para verificar a aderência do sistema aos requisitos considerados obrigatórios para a certificação.

2. Materiais e Métodos

A avaliação do e-SUS AB foi realizada em etapas. Na primeira etapa foi definido o método de avaliação. A definição e configuração do ambiente de teste foi realizada na segunda etapa. Já na terceira e última etapa foram realizados os testes.

2.1. Definição do método de avaliação

Baseado no Manual de Certificação para S-RES versão 4.2 (Edição 2016) e no Manual Operacional de Ensaio e Análises para Certificação de S-RES versão 2.1 de 2016, ambos disponibilizados para download no site da SBIS, foi constatado que o PEC se enquadra na categoria assistencial, a qual é voltada à assistência à saúde de indivíduos.

O método de avaliação é similar ao utilizado por auditores da SBIS durante o processo de certificação. Foram considerados os requisitos de Estrutura, Conteúdo e Funcionalidades e Nível de Garantia de Segurança 1 (NGS1) da certificação SBIS/CFM versão 4.2. Não foram avaliados os requisitos referentes à Gestão Eletrônica de Documentos (GED) e nem os requisitos pertencentes ao Nível de Garantia de Segurança 2 (NGS2).

Para cada requisito obrigatório para obtenção da certificação, foram realizados os testes descritos no Manual Operacional de Ensaio e Análises. No manual de certificação, os requisitos são classificados como obrigatórios, opcionais ou que não se aplicam. No contexto desta pesquisa, apenas os requisitos definidos como obrigatórios foram avaliados.

Alguns *scripts* de testes são fracionados em cenários distintos tornando possível que o S-RES alcance um resultado esperado e outro não. Sendo assim, definimos uma escala para avaliação dos requisitos:

- NA – Não se aplica: quando não se aplicar ao contexto/arquitetura do e-SUS AB PEC;
- N – Não implementado: quando o e-SUS AB PEC não for capaz de atender nenhum dos resultados esperados;
- P – Parcialmente implementado: quando o e-SUS AB PEC for capaz de atender pelo menos um dos resultados esperados;
- T – Totalmente implementado: quando e-SUS AB PEC for capaz de atender o requisito em sua totalidade.

2.2. Configuração do ambiente de testes

Para a realização dos testes de conformidade foi utilizado o sistema e-SUS AB PEC Treinamento, versão 2.1.08, disponibilizado para download no site do Ministério da Saúde. Nesta versão é instalado o banco de dados PostgreSQL 9.3 com o pgAdmin III.

Após a instalação, foi importado um arquivo no formato .xml com dados fictícios para que o sistema pudesse ser configurado e preparado para realização dos testes. A configuração do servidor de testes utilizado é superior à configuração mínima recomendada pelo DAB. A Tabela 1 apresenta as diferenças de configuração.

Tabela 1. Diferença de configurações

	Configuração recomendada (DAB)	Configuração utilizada
Processador	2,0 GHz dual-core	2,7 GHz dual-core
Memória RAM	4,0 GB	8,0 GB
Espaço em disco	50 GB	+ 100 GB
Sistema operacional	32 bits	64 bits

2.3. Realização dos testes

Os testes foram executados em sua maioria utilizando um computador desktop com as configurações descritas acima. Para os testes de alguns requisitos que tratavam sobre documentos do S-RES, foi utilizado como referência o site do Departamento da Atenção Básica (DAB) e os manuais disponibilizados através dele.

3. Resultados das avaliações

Esta seção apresenta os resultados obtidos com a avaliação dos requisitos definidos como obrigatórios para obtenção da certificação da SBIS. Para cada um destes requisitos, o manual operacional de ensaios e análises dispõe de um cenário de teste. Ao ser executado deverá revelar se o S-RES atende ao requisito ou não. Há uma ressalva para os requisitos classificados como “não se aplica”.

3.1. Avaliação referente ao nível de garantia de segurança 1 (NGS1)

No NGS1 - Assistencial, o S-RES deve contemplar um total de 59 requisitos. A Tabela 2 apresenta os requisitos obrigatórios e o resultado da avaliação.

Tabela 2. Requisitos obrigatórios para NGS1 e sua classificação

Requisito	Resultado da avaliação	Requisito	Resultado da avaliação	Requisito	Resultado da avaliação
NGS1.01.01	P	NGS1.05.02	N	NGS1.09.01	P
NGS1.02.01	T	NGS1.05.03	N	NGS1.09.02	N
NGS1.02.02	T	NGS1.06.01	N	NGS1.09.04	N
NGS1.02.03	T	NGS1.06.02	N	NGS1.09.05	N
NGS1.02.04	P	NGS1.06.03	T	NGS1.09.07	NA
NGS1.02.05	N	NGS1.06.04	N	NGS1.09.08	N
NGS1.02.06	T	NGS1.06.05	N	NGS1.09.09	N
NGS1.02.08	N	NGS1.06.06	N	NGS1.09.10	NA
NGS1.03.01	T	NGS1.06.07	T	NGS1.09.11	NA
NGS1.03.02	P	NGS1.06.08	T	NGS1.09.12	T
NGS1.04.01	P	NGS1.07.01	T	NGS1.09.13	N
NGS1.04.02	T	NGS1.07.05	T	NGS1.09.14	N
NGS1.04.03	T	NGS1.07.06	T	NGS1.10.1	N
NGS1.04.04	P	NGS1.07.10	T	NGS1.10.3	P
NGS1.04.05	T	NGS1.07.11	NA	NGS1.12.01	T
NGS1.04.06	P	NGS1.08.01	T	NGS1.12.07	N
NGS1.04.07	N	NGS1.08.02	P	NGS1.13.03	N
NGS1.04.08	N	NGS1.08.04	N	NGS1.13.04	N
NGS1.04.11	N	NGS1.08.05	N	NGS1.13.06	N
NGS1.05.01	P	NGS1.08.06	N	--/--	--/--

Alguns requisitos foram classificados como “Não se aplica” uma vez que possuem condições para a sua existência que estão fora de contexto/arquitetura do sistema avaliado. A seguir são apresentados estes requisitos, suas condições e a justificativa para a classificação:

- NGS1.07.11 - **Condição:** “S-RES ofertado na modalidade "S-RESaaS" (S-RES as a Service).”. **Justificativa:** o e-SUS AB PEC não funciona como um serviço;
- NGS1.09.07 e NGS1.09.10 - **Condição:** “S-RES composto por componentes distribuídos.”. **Justificativa:** o e-SUS AB PEC não possui uma arquitetura para funcionar de forma distribuída;

- NGS1.09.11 - **Condição:** “Possibilidade de importação automática de dados de dispositivos externos informação de saúde.”. **Justificativa:** o e-SUS AB PEC não faz a importação de dados de dispositivos externos.

Conforme apresentado na Figura 1, dos 59 requisitos definidos como obrigatórios no manual de certificação da SBIS, o e-SUS AB PEC implementa totalmente 18 deles (30,5%). Parcialmente implementados foram registrados 10 requisitos (16,9%). Não implementados somaram 27 (45,8%) e 3 requisitos (6,8%) foram classificados como não se aplica.

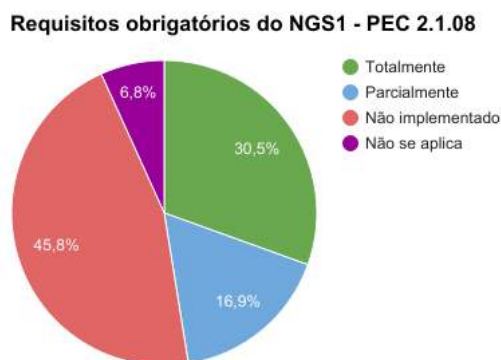


Figura 1. Quantitativo de requisitos e sua classificação

3.2. Avaliação dos requisitos de estrutura e conteúdo (ESTR)

Nesta seção são apresentados, conforme a Tabela 3, os resultados obtidos com a avaliação dos 29 requisitos obrigatórios do modelo de estrutura e conteúdo.

Tabela 3. Requisitos obrigatórios de estrutura e conteúdo, e sua classificação

Requisito	Resultado da avaliação	Requisito	Resultado da avaliação	Requisito	Resultado da avaliação
ESTR.01.01	T	ESTR.03.03	T	ESTR.05.01	N
ESTR.01.03	T	ESTR.03.05	N	ESTR.05.04	P
ESTR.01.04	N	ESTR.03.07	T	ESTR.05.06	P
ESTR.01.06	T	ESTR.03.08	T	ESTR.05.09	P
ESTR.02.02	T	ESTR.03.09	T	ESTR.05.13	N
ESTR.02.03	N	ESTR.03.10	P	ESTR.05.14	P
ESTR.02.05	P	ESTR.03.11	P	ESTR.09.02	P
ESTR.02.06	T	ESTR.04.01	T	ESTR.09.03	T
ESTR.02.10	T	ESTR.04.02	P	ESTR.09.04	T
ESTR.02.11	T	ESTR.04.06	P	--/--	--/--

Neste modelo, conforme apresentado na Figura 2, o e-SUS AB PEC implementa de forma total 14 requisitos (48,3%). Parcialmente implementados somam 10 requisitos (34,5%). Apenas 5 requisitos (17,2%) foram classificados como não implementados.



Figura 2. Quantitativo de requisitos de estrutura e conteúdo e sua classificação

3.3. Avaliação dos requisitos de funcionalidade (FUNC)

Totalizando também 29 requisitos obrigatórios, nos quais foram executados os testes contidos no manual de ensaios e análises, a Tabela 4 apresenta os resultados obtidos com a avaliação dos requisitos do modelo de funcionalidade.

Tabela 4. Requisitos obrigatórios de funcionalidade e sua classificação

Requisito	Resultado da avaliação	Requisito	Resultado da avaliação	Requisito	Resultado da avaliação
FUNC.01.04	P	FUNC.05.01	P	FUNC.16.02	N
FUNC.02.01	T	FUNC.06.01	T	FUNC.17.01	P
FUNC.02.03	T	FUNC.07.01	T	FUNC.18.04	P
FUNC.04.01	P	FUNC.08.02	P	FUNC.18.09	N
FUNC.04.03	N	FUNC.09.01	P	FUNC.23.01	N
FUNC.04.05	N	FUNC.09.02	P	FUNC.23.02	N
FUNC.04.06	T	FUNC.09.03	P	FUNC.25.02	N
FUNC.04.07	T	FUNC.09.04	N	FUNC.25.04	N
FUNC.04.08	N	FUNC.11.02	NA	FUNC.27.01	NA
FUNC.04.09	P	FUNC.16.01	N	--/--	--/--

Alguns requisitos foram classificados como “Não se aplica” uma vez que possuem condições para a sua existência que estão fora de contexto/arquitetura do e-SUS AB PEC. A seguir são apresentados estes requisitos, suas condições e a justificativa para a classificação:

- FUNC.11.02 - **Condição:** “S-RES registrar áudio e/ou imagem médica ou odontológica.”. **Justificativa:** o PEC não registra áudio e/ou imagem médica ou odontológica;
- FUNC.27.01 - **Condição:** “Existir uma versão anterior do mesmo S-RES já certificada pelo processo SBIS/CFM.”. **Justificativa:** nenhuma versão do PEC é certificada pelo modelo SBIS/CFM.

Conforme apresentado na Figura 3, dos 29 requisitos definidos como obrigatórios no manual de certificação da SBIS, o e-SUS AB PEC implementa totalmente 6 deles (20,7%). Parcialmente implementados foram registrados 10 requisitos (34,5%). Não implementados somam 11 (37,9%) e 2 requisitos (6,9%) foram classificados como não se aplica.

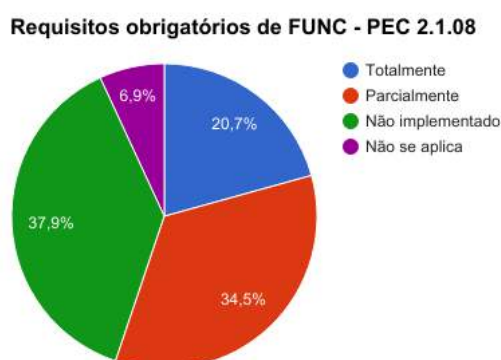


Figura 3. Quantitativo de requisitos de funcionalidade e sua classificação

3.4. Panorama geral

Para a certificação oficial, a classificação “Parcialmente implementado” utilizada nesta pesquisa não existe. O S-RES deve ser capaz de contemplar totalmente o requisito ou não é considerado como atendido. Na Figura 4 apresentamos uma visão geral considerando somente os requisitos classificados como “Totalmente implementados” em relação ao total de requisitos da respectiva categoria.

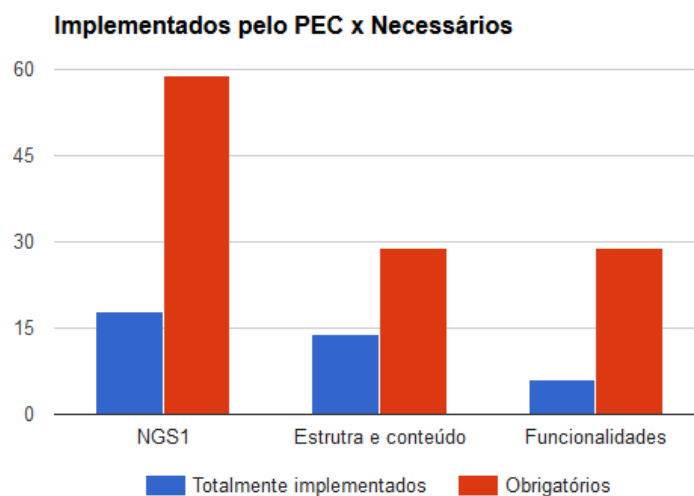


Figura 4. Requisitos implementados em relação aos necessários

4. Ameaças à validade

Tendo em vista que este trabalho visa mostrar uma visão geral do nível de conformidade do e-SUS AB PEC e não realizar uma auditoria formal, não fez-se necessária a participação de um auditor autorizado pela SBIS. Com isso, é possível que o resultado possa não ter a mesma credibilidade se fosse realizada uma auditoria oficial.

Também não houve a participação de um profissional da área de saúde para confirmar se os dados clínicos foram inseridos corretamente durante a execução dos testes, o que também pode ter comprometido os resultados apresentados.

Por fim, o uso do sistema na versão de treinamento pode ser um complicador pois não apresenta todas as funcionalidades se comparada à versão de produção.

5. Conclusão

A preocupação em garantir a qualidade e a segurança dos S-RES é fundamental e deve ser adotada. O processo de certificação tem garantias suficientes de qualidade e segurança para qualquer S-RES. Por isso, é importante que os S-RES estejam alinhados com os requisitos exigidos para a certificação.

Sobre os resultados apresentados, segundo análise dos autores, o e-SUS AB PEC não implementa todos os requisitos obrigatórios em sua totalidade. Fato este que reprovava o sistema caso fosse submetido ao processo de certificação da SBIS/CFM. Ainda assim, a avaliação pode ser considerada positiva, considerando-se que a equipe de desenvolvimento do e-SUS AB PEC juntamente com o Ministério da Saúde têm em mãos um material detalhado e que pode auxiliar no planejamento para que mais requisitos alcancem a classificação de totalmente implementado, aumentando a qualidade e segurança do sistema e dos seus dados.

Há também um número considerável de requisitos classificados como parcialmente implementados. Se estes requisitos atingissem a classificação esperada, ou seja, passassem de parcialmente para totalmente implementados, o sistema elevaria o índice de 38 (32,5%) para 73 (62,4%) requisitos totalmente implementados.

Por fim, lembramos que a certificação é válida para uma determinada versão do sistema e que a avaliação de cada nova versão tem um custo e um processo envolvido. O Ministério da Saúde costuma disponibilizar uma versão quase que mensalmente, na maioria dos casos para correção de bugs e problemas encontrados. Manter uma versão sempre certificada representaria um custo considerável. Além disso, não há interesse por parte do Ministério da Saúde em submeter o PEC ao processo de certificação, mas há uma preocupação em manter o sistema cada vez mais aderente aos requisitos da certificação.

5.1. Trabalhos futuros

Como trabalhos futuros, destaca-se a possibilidade de incluir os requisitos de Estrutura, Conteúdo e Funcionalidades e Nível de Garantia de Segurança 1 (NGS1) classificados como recomendados para a certificação, uma vez que estes não fizeram parte do escopo deste trabalho. Também avaliar os requisitos referentes à Gestão Eletrônica de Documentos (GED) e pertencentes ao Nível de Garantia de Segurança 2 (NGS2). Outra possibilidade é a de aplicar novamente a avaliação utilizando versões futuras do e-SUS

AB PEC com o objetivo de avaliar a evolução da conformidade do sistema com os requisitos do Manual de Certificação para S-RES. Também, avaliar continuamente a conformidade de acordo com novas versões dos manuais.

Referências

- Virginio, L., Ricarte, I., Souza J. Marques, P. (2014). Avaliação do S-RES de um hospital universitário baseada no processo de certificação SBIS/CFM, In: Congresso Brasileiro de Informática em Saúde – CBIS 2014, Santos – SP.
- Garcia, D., Simões, P., Bhrem, M., Goularte, F., Spíndola de Bem, F., Rosa, M., Casagrande, M. (2010). Perspectivas da Utilização dos Requisitos Mandatórios de Conteúdo e Estrutura do Processo de Certificação de Software em Saúde Brasileiro na Modelagem de um Sistema e Registro Eletrônico em Saúde, In: Congresso Sul Brasileiro de Computação – SULCOMP 2010.
- César, H., Menezes-Reis, R., Ferranti, J., Alves, D., Azevedo-Marques, P. (2016). Auditoria do e-SUS AB segundo a Certificação para S-RES SBIS/CFM, In: Congresso Brasileiro de Informática em Saúde – CBIS 2016. Goiânia – GO.
- SBIS (2016a). Manual de certificação para sistemas de registro eletrônico em saúde – v4.2. Disponível em: http://www.sbis.org.br/certificacao/Manual_Certificacao_SBIS-CFM_2016_v4-2.pdf, último acesso em: 19/03/2017, às 17:02.
- SBIS (2016b). Manual operacional de ensaios e análises para certificação de S-RES – versão 2.1. Disponível em: http://www.sbis.org.br/certificacao/Manual_OperEnsAnal_SBIS-CFM_2016_v2-1.pdf, último acesso em: 19/03/2017, às 17:02.
- Murphy, G., Hanken, M. A. and Waters, K. (1999). Electronic health records: Changing the vision. Saunders WB Co.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT ISO/TR 20.514: Informática em saúde - Registro eletrônico de saúde - Definição, escopo e contexto. Rio de Janeiro, 2008.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR ISO 18.308: Informática em saúde – Requisitos para uma arquitetura de registro eletrônico de saúde. Rio de Janeiro, 2013.
- BRASIL. Conselho Federal de Medicina. Resolução nº 1821, de 2007. Normas técnicas concernentes à digitalização e uso dos sistemas informatizados para a guarda e manuseio de documentos dos prontuários dos pacientes, autorizando a eliminação do papel e a troca de informação identificada em Saúde. Disponível em: http://www.portalmédico.org.br/resolucoes/cfm/2007/1821_2007.htm, último acesso em: 21/03/2017, às 19:02.
- Ministério da Saúde. Política Nacional de Informação e Informática em Saúde. Disponível em: http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/politica_nacional_infor_informatica_saude_2016.pdf, último acesso em 05/05/2017.

Desenvolvimento de descritores baseado em análise de forma para diagnóstico de lesões pulmonares

Antonino Calisto dos S. Neto¹, Alexandre Ribeiro C. Ramos¹, Antonio Oséas de C. Filho¹, Alcilene D. de Sousa¹, Patricia Medyna L. de L. Drumond¹

¹ Laboratório de Investigação em Pesquisa e Poética Digital, Universidade Federal do Piauí, rua Cicero Duarte, bairro Junco, Picos - PI, Brasil

{antuninosantos, alexandre.cajamos, antoniooseas, alcileneeluzsousa}@gmail.com, patriciamedyna@ufpi.edu.br

Abstract. *Lung cancer is one of the most common types of cancer and the one with the highest mortality rate in the world. The automation of diagnostic computer vision systems, through the analysis of medical images, provides an interpretation regarding the pathology. The idea is to use the features of the form from the images of lung nodules, then sort on malignant or benign. This paper presents the development of descriptors based on shape analysis for characterization of nodule. The tests have promising results with an accuracy of 92 %, specificity of 89.2%, sensitivity of 91.5 % and a área under the ROC curve of 0.920.*

Resumo. *O câncer de pulmão é um dos tipos mais comuns de câncer e o que possui maior índice de mortalidade no mundo. A automatização do diagnóstico por sistemas de visão computacional, através da análise das imagens médicas, proporciona uma interpretação a respeito da patologia. A ideia é utilizar as características de forma extraídas das imagens dos nódulos pulmonares, para classificar em maligno ou benigno. Este trabalho apresenta o desenvolvimento de descritores baseado na análise de forma, para caracterização do nódulo. Os testes apresentaram resultados promissores com uma acurácia de 92%, uma especificidade de 89,2%, uma sensibilidade 91,5% e uma área sob a curva ROC de 0,920.*

1. Introdução

Com o avanço da tecnologia, diversas áreas têm sido beneficiadas na simplificação de soluções para seus problemas. Uma dessas áreas é a área da saúde, destacando as pesquisas relacionadas ao diagnóstico do câncer. O câncer é caracterizado pelo crescimento desordenado das células, que invadem tecidos e células vizinhas, tornando-se, às vezes, agressivas e incontroláveis [NCI 2017].

Atualmente, o câncer de pulmão, é o câncer com maior taxa de mortalidade mundial no homem e o segundo na mulher, ficando atrás apenas para o câncer de mama [IARC 2017].

Diferentes ferramentas foram desenvolvidas para ajudar no diagnóstico do câncer de pulmão, sendo uma das mais conhecidas as análises de imagens obtidas por meio de Tomografia Computadorizada (TC). A TC surgiu como uma maneira eficaz para auxiliar na detecção de nódulos pulmonares, tornando-se bastante usual para o diagnóstico do câncer.

No entanto, na análise de um exame pode ocasionar alguns problemas no diagnóstico, por ser realizada de forma subjetiva, além da complexidade dos diferentes formatos que um nódulo pode assumir, ocasionando erros em sua análise, causada por fadiga visual, baixa qualidade de imagem, distração, entre outros.

Assim, pode-se utilizar sistemas CADx (“*Computer-Aided Diagnosis*”) com a finalidade de melhorar a acurácia do diagnóstico (maligno e benigno), servindo de uma “segunda opinião” para a tomada de decisão do especialista.

2. Trabalhos Relacionados

Na literatura, muitos trabalhos estão relacionados com o desenvolvimento de sistemas automáticos para classificação dos nódulos pulmonares. A seguir, tem-se os resumos dos trabalhos mais recentes relacionados ao método proposto.

Orozco et al. (2015) propõe um método que avalia os descritores mais significativos utilizando uma *Support Virtual Machine* (SVM). A pesquisa conta com a validação de imagens de 45 TC das bases *Lung Image Database Consortium – (LIDC-IDRI)*, onde obtiveram resultados promissores, com taxas de acertos de sensibilidade de 90,9%, especificidade de 73,91% e acurácia de 82%.

Froner (2015) utilizou em seu trabalho atributos morfológicos, de intensidade e textura para uma melhor interpretação no diagnóstico auxiliado por computador. Ela apresentou uma avaliação para a utilização de dados de pacientes e atributos quantitativos de nódulos pulmonares em imagens de Tomografias Computadorizadas (TC) de pulmão para a elaboração de um modelo que melhor classificasse a malignidade dos nódulos, onde obteve um melhor resultado sob curva ROC de 0.923 de precisão e no melhor caso, uma acurácia de 85,1 %.

No trabalho de Dhara et al. (2016) utilizou-se uma estrutura de segmentação para todos os tipos de nódulos pulmonares (benignos e malignos), baseado na textura interna (sólida / parte sólida e não sólida) e externa (pleural e vascular). Foram utilizados descritores de forma e textura para a representação dos nódulos provenientes da base LIDC-IDRI. Como resultado obteve-se uma sensibilidade de 89,73%, uma especificidade de 86,36% e uma área sob a curva ROC de 0,882.

Em Wang et al (2016) é proposto a metodologia baseada no método *Radiomic* quantitativo para predição de tumor maligno e benigno. Utiliza-se uma análise radiográfica de 150 características quantificando a intensidade, forma e textura da image do tumor pulmonary utilizando a base LIDC-IDRI. Obteve-se como resultados uma acurácia de 86%, uma sensibilidade de 82,5 % e uma especificidade de 89,5 %.

Neste trabalho foi desenvolvido uma metodologia utilizando apenas descritores de forma aplicados em uma quantidade maior de casos, além de possuir uma menor discrepância entre os valores de sensibilidade e especificidade, quando comparados com a maioria dos trabalhos relacionados.

3. Metodologia

A metodologia desenvolvida para a classificação dos nódulos pulmonares em maligno ou benigno seguiu algumas etapas: Inicialmente houve a aquisição das imagens; posteriormente, foram extraídas as características a partir dos índices de forma; em seguida, utilizou-se a ferramenta WEKA para classificação em maligno e benigno.

3.1. Aquisição de Imagens

Para aplicação dos algoritmos desenvolvidos foi utilizada neste trabalho a base de imagens pública LIDC-IDRI, disponibilizada pelo *National Cancer Institute of EUA* (NCI). Esse banco de dados de imagens foi criado a partir da combinação das bases *Lung Image Database Consortium* (LIDC) e o *Image Database Resource Initiative* (IDRI). Essa base foi utilizada para treinamento dos algoritmos estudados, otimização e validação dos resultados adquiridos [Armato III et al. 2011].

A criação da LIDC-IDRI resultou em uma base composta por 1018 exames, de acordo com as informações e marcações da base LIDC. Cada exame dessa base possui um arquivo XML (*eXtensible Markup Language*), com marcações das coordenadas dos nódulos e da quantidade de fatias do exame, descritas por 4 especialistas [Armato III et al. 2011]. Foram utilizados testes de eficiência nessa base, utilizando 1403 nódulos, sendo 1009 benignos e 394 malignos [Carvalho Filho 2016].

3.2. Descritores de Características

A fase de extração foi desenvolvida a partir da obtenção de características baseadas na forma dos nódulos pulmonares, pois estas podem fornecer informações de sua malignidade, como: volume, esfericidade, entre outros.

A fase de classificação utilizou como entradas, as características obtidas na fase de extração, as quais são submetidas à avaliação de um classificador e a partir de um treinamento prévio, informar a natureza maligna ou benigna.

3.3.1. Desproporção Esférica

A desproporção esférica é medida por meio da comparação entre a área de um objeto com a área que este objeto viria a possuir se fosse totalmente esférico, podendo assim, obter uma diferenciação quantitativa de sua estrutura morfológica [Sousa 2007].

A Equação 1 define como é calculada a desproporção esférica de um objeto, onde A é a área da superfície do objeto, R é o raio estimado da esfera como o mesmo volume do objeto. O raio é obtido através da equação 2, onde V é o volume do objeto.

$$DespEsf = \frac{A}{4\pi R^2} \quad (1)$$

$$R = \frac{\sqrt[3]{3V}}{4\pi} \quad (2)$$

3.3.2. Compacidade

Essa medida geométrica é calculada através da medição da densidade em relação a uma figura perfeitamente densa, ou seja, uma esfera.

A Equação 3 apresenta a fórmula para calcular a compacidade [Sampaio 2015], onde p representa área da superfície do objeto e A representa o volume interno do objeto.

$$C = \frac{V}{\frac{4\pi R^3}{3}} \quad (3)$$

3.3.3. Medidas Estatísticas

Tendo em vista essa variação e com o intuito de produzir informações mais consistentes quanto ao diagnóstico, foi calculado o desvio padrão e a média da variância da distância

entre o centro de massa do nódulo e a sua borda. As Equações 4 e 5 apresentam os cálculos dessa medida, onde M representa a média da distância entre o centro do candidato a nódulo e a sua borda, sendo n a quantidade de pontos identificados no decorrer de toda a borda. X_i indica a distância entre o centro do candidato a nódulo e um ponto i da borda.

$$M = \frac{\sum_i^n X_i}{n} \quad (4)$$

$$DP = \sqrt{\frac{\sum_i^n (X_i - M)^2}{n}} \quad (5)$$

3.3.4. Diâmetros de Feret

O Diâmetro de Feret pode ser considerado a distância entre dois planos que definem o limite de um objeto por meio de retas perpendiculares a esse objeto e em uma direção específica. A Figura 1 mostra um exemplo.

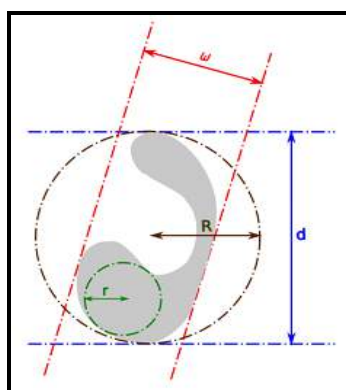


Figura 1. Demonstração de Feret. Adaptado de Sampaio (2015).

Por meio da aplicação dessa técnica sobre uma imagem 3D, é possível extrair informações como volume interno do objeto (A), área da superfície (P), raio maior (R) e menor (r) de um circunferência interna da forma, e os diâmetros mínimo (w) e máximo (d) de Feret.

3.3.5. Esqueleto

Os descritores que utilizam o esqueleto como base, podem ser usados para obter as propriedades do esqueleto, como o tamanho do esqueleto, definido a partir do centro de massa de alguns círculos até as bordas de um limite definido (No caso da Figura 2, utilizou-se um retângulo, para que através deste método, calcular o tamanho do esqueleto), e utilizá-lo para extrair características à respeito da forma [Sebastian 2001]. Como exemplo, pode-se citar um descritor proposto por Klein *et. al* (2000), em que comparam grafos a partir da utilização de um algoritmo de distância de edição.

Considera-se que um ponto pertence ao esqueleto se ele for o centro de um círculo máximo e se este círculo tocar a borda em pelo menos dois pontos diferentes [Braz Júnior 2014]. Essa técnica foi utilizada em conjunto, através do tamanho do esqueleto (E) com os diâmetros mínimo (w) e máximo (d) de Feret para criar novos descritores, como pode ser observado nos índices 15 e 16 da Tabela 1.

Na Figura 2 é ilustrado os pontos pertencentes ao esqueleto e a ilustração dos círculos que tocam os limites das bordas.

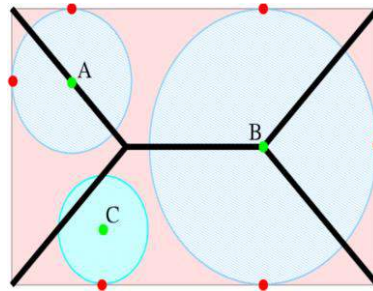


Figura 2. Ilustração do retângulo do esqueleto, onde *A* e *B* pertencem ao esqueleto, e *C* não faz parte do mesmo. Adaptado de [Sampaio 2015].

3.3.6 Descritores combinados com o esqueleto e o Diâmetro de Feret

Para melhorar a precisão das informações obtidas através da forma nódulos pulmonares, foram implementados alguns descritores de forma, descritos no trabalho de Sampaio (2015).

Esses descritores podem ser observados na Tabela 1 onde *A* é o volume interno do objeto, *P* é a área da superfície, *R* é o raio maior e *r* é o raio menor de uma circunferência interna da forma, *w* é o diâmetro mínimo e *d* é o diâmetro máximo de Feret, e *Eq* é o tamanho do esqueleto.

Tabela 1 - Descritores extraídos de acordo com o trabalho de Sampaio (2015).

Descritor	Fórmula	Descritor	Fórmula
1	$\frac{r}{R}$	8	$\frac{\pi w}{P}$
2	$\frac{w}{2R}$	9	$\frac{4\pi A}{p^2}$
3	$\frac{A}{2\pi R}$	10	$\frac{2d}{P}$
4	$\frac{2r}{d}$	11	$\frac{4R}{P}$
5	$\frac{4A}{\pi d^2}$	12	$\frac{2r}{w}$
6	$\frac{R\sqrt{3}}{d}$	13	$\frac{d}{Eq}$
7	$\frac{2\pi r}{P}$	14	$\frac{w}{Eq}$

3.3.7. Esfericidade

O cálculo da taxa de esfericidade (*E*) serve para medir o comportamento do nódulo, levando em consideração um objeto esférico [Silva 2007]. Assim, a esfericidade tem como objetivo medir o quão “perfeito” seria um nódulo, já que um nódulo perfeito, seria equivalente a uma esfera “perfeita” [Silva 2004]. A Equação 6 representa tal conceito.

$$E = \frac{6V\sqrt{\pi}}{A^2} \quad (6)$$

onde V é o volume do nódulo do nódulo, e A é a área da superfície do nódulo.

3.3.8. Densidade Esférica

Com a densidade esférica (*DensEsf*) é possível medir o quão compacto é um objeto, comparando o seu volume em relação ao volume de um *bounding box* [Sousa 2008]. O cálculo da densidade esférica é definida pela Equação 7:

$$DensEsf = \frac{100 NV}{V} \quad (7)$$

onde NV representa o número de *voxels* (*pixel* em 3D) do nódulo e V é o volume do nódulo.

3.3.9. Medidas de Irregularidade

A irregularidade de um nódulo é dado pela razão entre o volume e o quadrado da área de um nódulo [Froner 2015]. O cálculo da medida de irregularidade é definida pela Equação 8:

$$I = \frac{A^2}{V} \quad (8)$$

onde V representa o volume do nódulo e A representa a área da superfície do nódulo.

3.3.10. Circularidade

A circularidade é bastante eficaz na definição de formas, pois representa a medida específica do contorno dos nódulos que estão sendo estudados [Braz Júnior 2014]. O cálculo da Circularidade é definida pela Equação 9:

$$C = \frac{A^2}{4\pi V} \quad (9)$$

onde A é a área da superfície do nódulo e V é o volume do nódulo. Assim, quanto mais próximo o objeto estiver de um círculo, mais próximo de 1 será o valor de sua circularidade [Braz Júnior 2014].

3.4. Classificação

A classificação se utiliza da descoberta de elementos e a relação entre eles, com o intuito de chegar a uma possível conclusão [Giger 1999]. Essa técnica é muito utilizada para o treinamento de algoritmos em processamento de imagens [Landwehr et al. 2003].

Os 4 classificadores aos quais esse trabalho foi submetido (Simple logic [Frank 2014], LMT [Frank 2014], *Bagging* [Frank 2014] e o *Radial Basis Function Classifier* [WEKA 2017]) usaram o método *k-fold cross validation*, em que utilizam 10 conjuntos de características ($k=10$) onde 9 são para treinamento e 1 para testes. Esse processo é repetido 10 vezes, sendo que o conjunto no momento escolhido para o teste, é diferente do anterior, para que no final seja gerada uma média dos resultados.

3.5. Métricas de Avaliação

As métricas utilizadas para validação dos resultados foram especificidade [Zhu et al. 1998], sensibilidade [Zhu et al. 1998], acurácia [Provost e Domingos 2000], índice Kappa [Cook 1998] e a curva ROC [Martinez et al. 2003].

A sensibilidade é conceituada como a probabilidade do teste em fornecer um resultado positivo, desde que o indivíduo seja portador da enfermidade. Este teste define o número de nódulos que são detectados corretamente. [Zhu et al. 1998].

A especificidade, por sua vez, se caracteriza como a probabilidade do fornecimento de um resultado negativo pelo teste. Ele mede a proporção de pessoas sem a doença, indicando a qualidade do teste em identificar os indivíduos não doentes, caracterizando o número de casos que foram identificados como não-nódulos [Zhu et al. 1998].

Já acurácia, calcula o total de acertos baseado em todas as instâncias classificadas, calculado a partir de todos os casos (classificados corretamente e incorretamente) [Provost e Domingos 2000].

O índice Kappa, é considerada como uma das métrica mais importantes na etapa de classificação, representando uma totalidade na matriz de confusão. Ele mede a concordância formulada para medir o desacordo do conjunto de respostas baseando-se em observadores, para assim, chegar em um consenso [Cook 1998]. A qualidade do índice Kappa é definida de acordo com o seu valor em uma escala de precisão, como pode ser observado na Tabela 2.

Tabela 2. Níveis de exatidão do índice Kappa. Adaptado de [Martinez et al. 2003].

Índice Kappa (K)	Qualidade
$K \leq 0,2$	Ruim
$0,2 < K \leq 0,4$	Razoável
$0,4 < K \leq 0,6$	Bom
$0,6 < K < 0,8$	Muito Bom
$K \geq 0,8$	Excelente

E por último, a área sob a curva ROC (*Receiver Operating Characteristic*) descreve, uma maneira aceitável e de grande utilização na literatura médica e na comunidade científica, de avaliar o desempenho quantitativo do método proposto, auxiliando na validação do teste [Martinez et al. 2003].

4. Resultados

Para validação da metodologia desenvolvida foram realizados testes de eficiência com base na LIDC-IDRI utilizando 1403 nódulos, sendo 1009 benignos e 394 malignos, proveniente do resultado da detecção feito por Carvalho Filho (2016). Os resultados e a eficiência das características para cada classificador utilizado podem ser observados na Tabela 3.

A Tabela 3 mostra que o classificador *SimpleLogistic* obteve o melhor resultado com um valor de 89,2% de especificidade (*E*), um valor de 91,5% de sensibilidade (*S*) e 92% de Acurácia (*A*) com um índice Kappa 0,6874 e uma área sob curva ROC de 0,920.

Considerando os termos qualitativos do trabalho, a metodologia apresenta um resultado para o diagnóstico de nódulos pulmonares em maligno ou benigno, que condiz com as opiniões dos especialistas.

Tabela 3. Resultados para os múltiplos classificadores.

Classificador	KAPPA	Curva ROC	S(%)	E(%)	A(%)
<i>Bagging</i>	0,6856	0,909	92,25	88	88
LMT	0,6874	0,920	91,5	89,2	91
<i>RBFClassifier</i>	0,6779	0,916	92,5	87,7	90
<i>SimpleLogistic</i>	0,6874	0,920	91,5	89,2	92

A Tabela 4 mostra alguns trabalhos com resultados aceitos na literatura, comparados com a metodologia proposta.

Tabela 4. Comparação entre os trabalhos relacionados e a metodologia proposta.

TRABALHOS	E(%)	A(%)	S(%)
[Froner 2015]	-	85,1	-
[Orozco et al. 2015]	73,91	82	90,9
[Dhara et al. 2016]	86,36	-	89,73
[Wang et al. 2016]	82,5	86	89,5
Metodologia	89,2	92	91,5

De acordo com a Tabela 4, em comparação com os trabalhos relacionados, a metodologia proposta apresenta um resultado aceitável no que diz respeito às métricas, possuindo um erro aproximado de 8% devido alguns nódulos malignos, às vezes, possuírem forma semelhante aos nódulos benignos, fazendo com que alguns dos descritores não obtivessem uma descrição relevante. Além disso, a base LIDC-IDRI é bastante diversificada quanto a sua composição, com marcações de diferentes especialistas provenientes de laboratórios diferentes [Armato III et al. 2011].

5. Conclusão

É notável que o diagnóstico de câncer de pulmão auxiliado por computador contribui de forma significativa para um diagnóstico correto e em menor tempo, pois representa um considerável aumento na probabilidade de sobrevivência dos pacientes. Esse trabalho apresentou uma metodologia automática para classificação de nódulos pulmonares baseada na análise de forma com múltiplos classificadores, com a intenção de diferenciar os nódulos pulmonares em maligno e benigno, servindo como uma segunda opinião para o especialista.

Os resultados obtidos confirmam um resultado promissor das técnicas de extração da forma, com uma taxa de acerto de 92%, proporcionando um tratamento precoce e com maiores chances de um prognóstico mais favorável ao paciente.

Para trabalhos futuros, pode-se verificar e selecionar alguns dos descritores citados que obtenham melhor relevância quanto à classificação (e/ou implementar outros descritores de forma, combinando-os com atributos funcionais e/ou atributos de textura), utilizando estes como parâmetros para a etapa de classificação em maligno e benigno.

Além disso, pode-se utilizar na etapa de classificação uma rede neural baseada em uma abordagem *Deep Learning* (aprendizagem profunda), onde a rede irá ser treinada, podendo fazê-la reconhecer de forma mais consistente os padrões de características dos nódulos benignos e malignos, obtendo uma classificação mais eficaz.

Referências

- Armato III, S. G.; McLennan G.; Bidaut L.; McNitt-Gray M.F.; Meyer C.R.; Reeves A.P.; Zhao B.; Aberle D.R.; Henschke C.I.; Hoffman E.A.; et al. "The Lung Image Database Consortium (LIDC) and Image Database Resource Initiative (IDRI): a completed reference database of lung nodules on CT scans", *Med. Phys.*, 38 (2011), pp. 915–931.
- Braz Júnior, G. B.. "Detecção de regiões de massas em mamografias usando índices de diversidade geoestatística e geometria côncava". Univ. Federal do Maranhão, Maranhão, Centro de Ciências e Tecnologias 2014.
- Carvalho Filho, A. O de.. Métodos para sistemas CAD e CADx de nódulo pulmonar baseada em tomografia computadorizada usando análise de forma e textura, tese de doutorado, Área de Engenharia de Eletricidade, Universidade Federal do Maranhão, Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, São Luís, Maranhão, 2016.
- Chen, W.; Li, Z.; Bai, L.; e Lin, Y.. "NF- kappaB, a mediator for lung carcinogenesis and a target for lung cancer prevention and therapy." *Frontiers in bioscience: a journal and virtual library*, 2011, v. 16, pp. 1172-1185.
- Cook, R. J.. "Kappa and its Dependence on Marginal Rates", *Encyclopedia of BioStatistics*, P. Armitage and T. Colton, eds., John Wiley & Sons, 1998, pp. 2166–2168.
- Dandil, E.; Cakiroglu, M.; Eksi, Z.; Ozkan, M.; Kurt, O.; Canan, A., "Artificial neural network-based classification system for lung nodules on computed tomography scans", *Soft Computing and Pattern Recognition (SoCPaR) 2014 6th International Conference of*, pp. 382-386, pp. 11– 14 Aug. 2014.
- Dhara, A. K., Mukhopadhyay, S., Dutta, A., Garg, M., & Khandelwal, N. A combination of shape and texture features for classification of pulmonary nodules in lung ct images. *Journal of digital imaging*, 2016, vol. 29, n. 4, pp. 466-475.
- Frank, E. "Fully supervised training of Gaussian radial basis function networks in WEKA". Department of Computer Science, The University of Waikato, 2014.
- Frazão, A., "Que tipo de nódulo pode ser câncer," *Tua saúde*, <https://www.tuasaude.com/que-tipo-de-nodulo-no-pulmao-pode-ser-cancer/> (acesso em Nov. 15, 2016).
- Froner, A. P. P.. Caracterização de nódulos pulmonares em imagens de tomografia computadorizada para fins de auxílio ao diagnóstico, Dissertação de mestrado, Área de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande Do Sul, Faculdade de Engenharia Elétrica, Troy, Porto Alegre, 2015.
- Giger, M. L.. "Computer-aided diagnosis". *RSNA Categorical Course in Breast Imaging*, 1999, pp. 783-792.
- International Agency for Research on Cancer - IARC. "About ANCErModial". Disponível em: <<http://www-dep.iarc.fr>>. Acessado em 15 Fev. 2017).

- Klein, P. N.; Tirthapura, S.; Sharvit, D.; e Kimia, B. B.. A tree-edit-distance algorithm for comparing simple, closed shapes. In Symposium on Discrete Algorithms, pp. 696–704, 2000.
- Landwehr, N.; Hall, M. ; e Frank, E.. “Logistic model trees,” in Proc. 14th Eur. Conf. Machine Learning, 2003, vol. 2837, pp. 241–252.
- Manzano-Mancho, D.; e Gómez-Pérez, A..” An overview of methods and tools forontology learning from texts”, The Knowledge Engineering Review, vol 19, n.3, pp. 187-212, 2005.
- Martinez, E. Z.. Louzada, N. F.; e Pereira, B. B.. “A curva ROC para tests diagnósticos”. Cadernos Saúde Coletiva 11, 2003, pp. 7-31.
- National Cancer Institute - NCI. “Lung Cancer. U.S. National Institute of Health”. Disponível em: <www.cancer.gov/about-cancer/what-is-cancer --> What Is Cancer?r>. Acessado em 15 Fev. 2017).
- Orozco, H.M.; Villegas, O. O. V.; Sanchez, V. G. C.; Dominguez, M. D. J. N. “Automated system for lung nodules classification based on wavelet feature descriptor and support vector machine”, Biomedical Engineering Online, v.14, no. 9 ,2015.
- Provost, F. e Domingos, P.. “Well-Trained Pets: Improving Probability Estimation Trees”, 2000, Stern School of Business, New York Univ.
- Sampaio, W. B. . “Mass Detection in Mammography Images using a Methodology Adapted to Breast Density”, Univ. Federal of the Maranhão, Maranhão, Center for Science and Technology, 2015.
- Sebastian, T. B.; Klein, P. N.; e Kimia, B. B.. "Recognition of shapes by editing shock graphs," in IEEE ICCV, 2001.
- Silva, A. C.. “Algoritmos para Diagnóstico Assistido de Nódulos Pulmonares Solitários em Imagens de Tomografia Computadorizada”. Tese de Doutorado do Programa de Pós-graduação em Informática, Departament de Informática, Pontificia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2004.
- Silva, A. C.. “Medidas globais em 3d para diagnóstico de nódulo pulmonar”. Disse, Instituto de Matemática Pura e Aplicada–IMPA, 2007.
- Sousa, J. R. F. S.. “Metodologia para detecção automática de nódulos pulmonares”. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Engenharia da Eletricidade, Universidade Federal do Maranhão 2007.
- Sousa, J. R. F. S.; Silva, A. C.; e Paiva, A. C.. “Lung structure classification using 3D geometric measurements and SVM. Progress in Pattern Recognition, Image Analysis and Applications.”. Lecture Notes in Computer Science.,2008, v. 4756, pp. 783-792.
- Wang, Jun, et al. "Prediction of malignant and benign of lung tumor using a quantitative radiomic method." Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2016 IEEE 38th Annual International Conference of the. IEEE, 2016.
- WEKA – Machine Learning Group at the University of Waikato. “Weka 3: Data Mining Software in Java”. Disponível em: <<http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/>>. Acessado 20 Mar. 2017)
- Zhu, W.; Zeng, N.; e Wang, N.. “Sensitivity, specificity, accuracy associated confidence interval and roc analysis with practical sas implementations” in In Proceedings of the NorthEast SAS Users Group. Conference on Evolutionary Programming, San Diego, CA, 1998, pp. 201-208.

Segmentação Semi-Automática de Úlceras para Terapia Larval

Vítor de G. Marques¹, Bruno Motta de Carvalho³, Bruno Santana da Silva¹,
Julianny Barreto Ferraz⁴, Renata Antonaci Gama²

¹Instituto Metrópole Digital

²Departamento de Microbiologia e Parasitologia

³Departamento de Informática e Matemática Aplicada
Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)

Av. Senador Salgado Filho, 3000 – 59078-970 – Natal – RN – Brasil

⁴Hospital Universitário Onofre Lopes

Av. Nilo Peçanha, 620 – 59012-300 – Natal – RN – Brasil

vitorgodeirom@gmail.com, bruno@dimap.ufrn.br, bruno@imd.ufrn.br,
juliannybarreto@hotmail.com, antonaci@cb.ufrn.br

Abstract. *The Larval Therapy (LT) is an alternative method for treatment hard healing wounds. It uses immature flies for cleaning these wounds, decreasing the need of amputations. A more efficient use of LT considers the wound area. For this calculation invasive techniques are usually used, like manual planimetry with plastic film. We investigate a noninvasive technique to guide LT with image analysis of wounds. This paper presents the use of Watershed algorithm to semi-automatic segmentation of wounds that will be submitted to LT.*

Resumo. *A Terapia Larval (TL) é um método alternativo para o tratamento de úlceras de difícil cicatrização. Ela utiliza formas imaturas de moscas para a limpeza dessas feridas, diminuindo a necessidade de amputações. Um uso mais eficiente da TL considera a área da ferida. Para este cálculo geralmente são usadas técnicas invasivas como a planimetria manual com filme plástico. Investigamos uma técnica alternativa para orientar a TL com o uso da análise de imagens de feridas. Este trabalho investiga o uso do algoritmo Watershed para segmentação semi-automática de úlceras que serão submetidas a TL.*

1. Introdução

Atualmente, milhares de pacientes com úlceras de difícil cicatrização de diferentes etiologias, vêm sendo tratados com terapia larval como nos Estados Unidos, Austrália, Israel e em vários países da Europa [Ferraz et al. 2014]. A Terapia Larval (TL) consiste na utilização de formas imaturas de moscas desinfectadas para a limpeza e remoção de tecidos desvitalizados em feridas, tais como: úlceras de pé diabético, úlceras pós-cirúrgicas infectadas, úlceras de decúbito, úlceras por estase venosa e em queimaduras [Téllez et al. 2012].

Para evitar o desperdício das larvas ou o emprego de uma quantidade menor do que o necessário, é preciso calcular a área da ferida para definir com precisão quantas larvas

devem ser aplicadas na TL. A prática clínica atual da TL costuma empregar técnicas invasivas para esse cálculo, usando, por exemplo, a planimetria manual com filme plástico. Métodos não invasivos têm sido investigados como alternativa rápida e indolor para guiar a TL, tal como a fotografia digital padronizada [Miot et al. 2009].

Esse trabalho tem como objetivo realizar um estudo sobre a eficiência de um algoritmo de segmentação semi-automática em úlceras, com a finalidade de fazer parte de um *software* específico para Terapia Larval. A partir de fotos da úlcera, o *software* realizará a aferição da área de necrose e indicação de quantas larvas e quantas aplicações devem ser realizadas para cada paciente.

2. Trabalhos Relacionados

Diversos trabalhos da literatura focam na segmentação de imagens de úlceras. [Poon and Friesen 2015] buscam identificar automaticamente o estágio das feridas usando algoritmos que determinam seu tamanho e cor, a partir de imagens obtidas por *smartphones* e *tablets*. Na etapa de segmentação, eles utilizam o algoritmo *Grabcut* [Rother et al. 2004]. [Hariprasad and Sharmila 2016] investigam formas de acompanhar a cicatrização de úlceras através do cálculo de área e perímetro a partir de suas imagens. Eles propõem um processo de segmentação com base em técnicas de *thresholding* e detecção de bordas.

Apesar de diversos trabalhos realizarem a segmentação de imagens de úlceras, nenhum se preocupa em apoiar a Terapia Larval. Com esse objetivo propomos investigar a eficiência da segmentação das úlceras a partir do algoritmo *Watershed* [Meyer 1992].

3. Estudo de caso

Para a análise de resultados é empregado um conjunto de imagens próprio, obtido a partir de pacientes diabéticos do Hospital Onofre Lopes (HUOL) em Natal – RN (como parte do projeto de pesquisa 631/11 aprovado pelo comitê de ética da UFRN). Selecionamos dez imagens aleatórias nesse conjunto para realizar nosso experimento. Quatro delas são apresentadas na Figura 1. As dez imagens foram segmentadas manualmente para gerar o *ground truth*, que serviram de comparação para aquelas obtidas pelo algoritmo discutido nesse artigo.

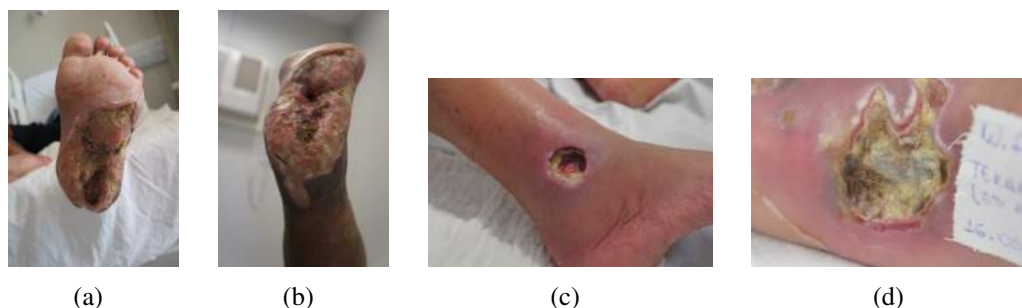


Figura 1. Imagens adquiridas.

As imagens originais passaram por um pré-processamento com a finalidade de diminuir a quantidade de ruídos. Ou seja, essa etapa tem o objetivo de detectar a pele humana e remover o que não for pele humana. Nessa fase utilizamos o sistema de cores

HSV, que é uma transformação não linear do sistema de cores RGB, sendo composto pelas componentes: matiz (*Hue* – H), saturação (*Saturation* – S) e brilho (*Value* – V). As imagens originais da Figura 1 tiveram como resultado de pré-processamento as imagens na Figura 2.

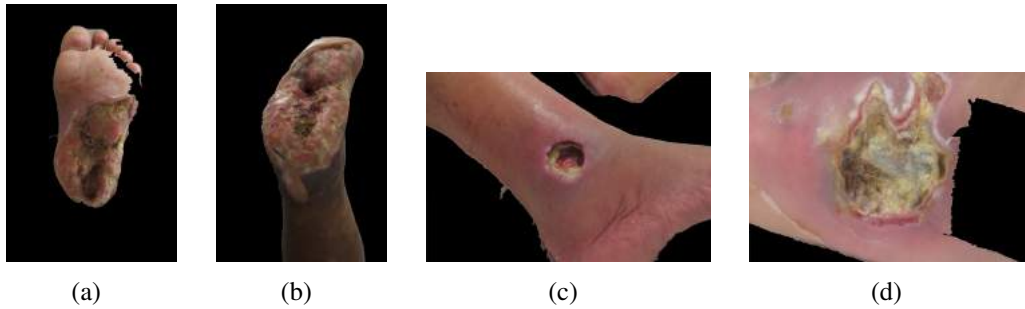


Figura 2. Imagens após o pré-processamento.

O próximo passo foi segmentar as imagens pré-processadas utilizando uma das variantes do algoritmo *Watershed*, baseada em marcadores não paramétricos, descrita em [Meyer 1992]. Para a execução deste algoritmo foi necessário marcar as regiões desejadas (sementes) nas imagens. A partir dessas regiões marcadas, o algoritmo construiu as componentes da nova imagem, retornando assim a imagem segmentada. A partir da imagem segmentada selecionamos a região de interesse. O resultado da segmentação das imagens da Figura 2 com a área de interesse (ferida) selecionada está apresentado na Figura 3.

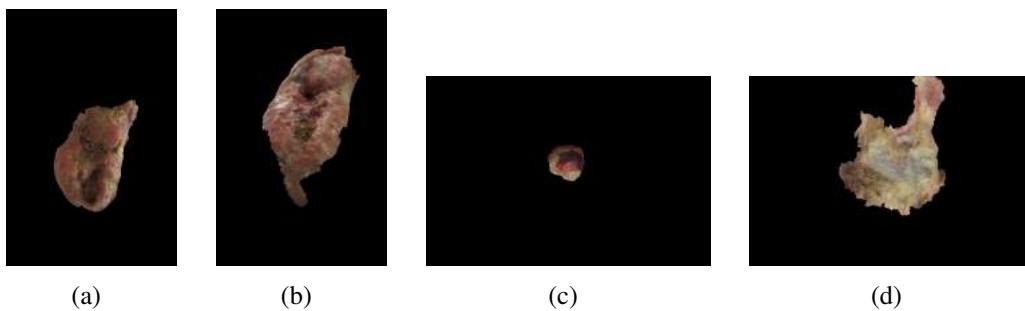


Figura 3. Imagens finais.

Para avaliar a eficiência desse método de segmentação, usaremos as métricas estatísticas acurácia, sensibilidade e especificidade. A acurácia é a porcentagem de acerto, a sensibilidade indica o acerto das regiões que são algum tipo de lesão e a especificidade o acerto de regiões que não são feridas. Na Tabela 1 apresentamos os resultados do nível de acurácia, sensibilidade e especificidade do algoritmo nas dez imagens do experimento.

Tabela 1. Resultados dos experimentos.

Instância	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Acurácia	0,943	0,997	0,998	0,976	0,984	0,979	0,987	0,983	0,989	0,980
Sensibilidade	0,746	0,997	0,979	0,987	0,987	0,996	0,975	0,960	0,999	0,981
Especificidade	0,997	0,997	0,999	0,971	0,984	0,975	0,989	0,987	0,987	0,980

O algoritmo teve uma acurácia média de 0,982 com desvio padrão de 0,015; uma sensibilidade média de 0,961 com desvio padrão de 0,076 e uma especificidade média

de 0,987 com desvio padrão de 0,009. Por meio dos resultados podemos observar que o algoritmo teve alta taxa de reconhecimento das regiões de feridas e das regiões que não eram feridas.

4. Conclusão e Trabalhos Futuros

Os resultados mostram que a metodologia aqui descrita apresentou altos valores de acurácia, especificidade e sensibilidade com imagens adquiridas sem nenhum protocolo específico. É importante investigar se o uso de um protocolo específico pode melhorar a robustez deste algoritmo.

Como continuação do trabalho pretende-se calcular a área das úlceras com precisão e usar em diversos tipos de feridas (tanto em relação à profundidade quanto em relação aos formatos das feridas). Adicionalmente será desenvolvido um aplicativo móvel para o uso na terapia larval, que possibilite indicar a quantidade de larvas necessárias para o procedimento, o que permitirá ao profissional de saúde um uso mais adequado da quantidade de larvas no tratamento.

Agradecimentos

Vítor Godeiro agradece ao Programa de Educação Tutorial do Ministério da Educação.

Referências

- Ferraz, J. B., de Queiroz Pinheiro, M. A. R., and Gama, R. A. (2014). Biocirurgia. *Feridas. As feridas têm alma. 1ª ed*, pages 693–697.
- Hariprasad, R. and Sharmila, N. (2016). Foot ulcer detection using image processing. *International Journal of Computing and Technology*, 3:120 – 123.
- Meyer, F. (1992). Color image segmentation. In *1992 International Conference on Image Processing and its Applications*, pages 303–306.
- Miot, H. A., Mendaçolli, T. J., Costa, S. V., Haddad, G. R., and Abbade, L. P. F. (2009). Úlceras crônicas dos membros inferiores: avaliação pela fotografia digital. *Revista da Associação Médica Brasileira*, 55:145 – 148.
- Poon, T. W. K. and Friesen, M. R. (2015). Algorithms for Size and Color Detection of Smartphone Images of Chronic Wounds for Healthcare Applications. *IEEE Access*, 3:1799–1808.
- Rother, C., Kolmogorov, V., and Blake, A. (2004). “Grabcut”: Interactive Foreground Extraction Using Iterated Graph Cuts. In *ACM SIGGRAPH 2004 Papers*, SIGGRAPH ’04, pages 309–314, New York, NY, USA. ACM.
- Téllez, G., Acero, M., Pineda, L., and Castaño, J. (2012). Larvaterapia aplicada a heridas con poca carga de tejido necrótico y caracterización enzimática de la excreción, secreción y hemolinfa de larvas. *Biomédica*, 32(3):312–320.

Desenvolvimento de métodos para detecção automática do glaucoma

Antônio Sousa Vieira de Carvalho Júnior¹, Antônio Oseas de Carvalho Filho¹,
Alcilene de Sousa¹, Patricia Medyna Lauritzen de Lucena Drumond¹,
Patricia da Silva Barros¹

¹Campus Senador Helvídio Nunes de Barros – Universidade Federal do Piauí (UFPI)
Picos, PI – Brazil

{junior_sousa95, patymedy}@hotmail.com, {antoniooseas, alcilene_luzsousa,
petibarrosthe}@gmail.com

Abstract. *Glaucoma is an ocular disease developed by the increase of the intra-ocular pressure that causes the progressive loss of the visual field. Because the condition is asymptomatic, it is of great importance that the disease be identified in the early stages thus facilitating treatment. The Digital Image Processing in conjunction with computational techniques has been developing methods for automatic detection of glaucoma. In this way, a comparison was made between four methods developed using the Otsu and k-means algorithms. In the first stage, optical segmentation was made. In the second stage, the extraction of characteristics based on the phylogenetic diversity indexes was used, and finally the classification using the WEKA, obtaining the best result applying the Otsu with sensitivity of 97.5% Specificity of 100.0% and an accuracy of 97.9%.*

Resumo. *O glaucoma é uma doença ocular desenvolvida pelo aumento da pressão intraocular que ocasiona a perda progressiva do campo visual. Devido à patologia ser assintomática, é de grande importância que a doença seja identificada nos estágios iniciais facilitando assim o tratamento. O Processamento Digital de Imagens em conjunto com técnicas computacionais vem desenvolvendo métodos para detecção automática do glaucoma. Desta forma, foi realizada uma comparação entre quatro métodos desenvolvidos utilizando os algoritmos de Otsu e k-means. Na primeira etapa foi feita a segmentação do disco óptico, na segunda etapa foi utilizada a extração de características baseada nos índices de diversidade filogenética e por fim a classificação utilizando o WEKA, obtendo o melhor resultado aplicando o Otsu com sensibilidade de 97,5%, especificidade de 100,0% e uma acurácia de 97,9%.*

1. Introdução

O glaucoma é uma doença crônico-degenerativa, definida como uma neuropatia óptica multifatorial que provoca inúmeras afecções oculares em células da retina e do nervo óptico [Mello et al. 2016]. Trata-se de uma patologia que, a princípio, não apresenta sintomas, de forma que seu prognóstico está relacionado à detecção e ao tratamento precoce.

As doenças oculares afetam grande parte da população mundial. Dados levantados pela Organização Mundial da Saúde (OMS) revelaram que o glaucoma é a segunda maior causa de cegueira irreversível no mundo [Resnikoff et al. 2004].

A Pressão Intraocular (PIO) é o principal fator de desenvolvimento do glaucoma. Este acontece devido ao canal de drenagem do líquido humor aquoso ser subitamente obstruído, originando assim no aumento da PIO ocasionando a morte das células da retina e do nervo óptico.

A detecção do glaucoma nos estágios iniciais aumenta a possibilidade de obter um melhor tratamento. Este diagnóstico pode ser realizado através de exames periódicos, tais como a Tomografia de Coerência Óptica e Tomografia Retiniana Heidelberg ou por meio dos métodos computacionais com análises de imagens da retina. Perante a dificuldade para identificar a patologia, o Processamento Digital de Imagens (PDI) está desenvolvendo um papel importante na detecção automática do glaucoma através de métodos que apresentam um menor custo e possibilitam auxiliar o oftalmologista com outras maneiras de reconhecer e classificar o tipo do glaucoma.

Esse trabalho tem como objetivo apresentar o desenvolvimento de métodos para detecção automática do glaucoma utilizando os algoritmos Otsu e k-means. A princípio, foi realizada a segmentação do Disco Óptico (DO) para ser efetuada a extração de características com descritores de textura baseados em Índices de Diversidade Filogenética (IDF) e, por fim, classificar os atributos de modo a verificar quais dos métodos obteve melhor desempenho na detecção automática do glaucoma.

2. Trabalhos Relacionados

Esta seção é voltada para abordagens de alguns trabalhos desenvolvidos com outros métodos para detecção automática do glaucoma, de modo a analisar cada metodologia empregada.

No trabalho de Santos e Veras (2012) foi realizada a segmentação do DO utilizando o algoritmo transformada wavalet Gabor em uma base de domínio público intitulada Drive com 40 imagens da retina. Para avaliar a eficácia do método proposto foi feita a comparação de dois métodos e foi adotada uma métrica de sucesso e falha obtendo um resultado com sucesso de 35 imagens resultando em 87.5% de acerto.

Em Claro (2015) a proposta do trabalho tinha como finalidade usar imagens da retina para a detecção automática do glaucoma através da extração e classificação. A base de imagens utilizada foi a RIM-ONE, que possui 169 imagens fornecidas por diversos especialistas, onde apresentam imagens de olhos saudáveis e com vários níveis de glaucoma. A princípio segmentou-se a região do DO utilizando uma máscara fornecida pela base, em seguida foram extraídas as características utilizando as cores e a entropia. Após isso, houve uma classificação obtendo-se o melhor resultado no classificador Randon Forest, com 93,67% e uma Acurácia e Kappa de 0,83.

Em Santos *et al.* (2015) a metodologia trabalhou apenas com o canal vermelho para melhorar a qualidade da segmentação. No estudo foram usadas três bases diferentes: RIM-ONE, DRISHTI-GS e DRIONS-DB. Na segmentação foi necessário encontrar o centro do DO para que pudesse circular a região que pertencia ao DO onde acontece o glaucoma. Quando comparada a segmentação das três bases a que apresentou os melhores resultados foi a RIM-ONE obtendo uma acurácia de 83%.

No estudo de Pinheiro *et al.* (2015), a proposta do trabalho foi segmentar a região de interesse utilizando o canal Vermelho (Red), Verde (Green) e Azul (Blue), em conjunto

com algoritmo K-means separando em 5 *clusters* para definir a região do DO e melhorar a segmentação. Na validação dos resultados foi utilizado o classificador F-scores chegando a uma porcentagem de acerto em 91,75%.

Entre os trabalhos relacionados, observa-se a necessidade de melhorar os resultados em Pinheiro *et al.* (2015), pois as manchas ao redor dos pixels do DO não foram retiradas, visto que ocorreu uma má segmentação de forma a modificar os resultados. Já em Santos e Veras (2012) a utilização de poucas imagens atrapalha na validação. A proposta desse trabalho é apresentar o desenvolvimento de dois métodos automáticos para a detecção do glaucoma usando os algoritmos de Otsu e k-means, para melhores resultados que os encontrados na literatura, com finalidade de auxiliar os médicos com resultados significativos, facilitando o diagnóstico precoce do glaucoma.

3. Materiais e métodos

A metodologia proposta neste trabalho teve como objetivo utilizar segmentação do DO para extrair as características com descritores de texturas baseados em IDF, aplicando classificadores para detecção automática do glaucoma. Durante o desenvolvimento, a metodologia foi dividida em 5 etapas, como ilustrado no fluxograma da Figura 1.



Figura 1. Fluxograma de execução do projeto.

3.1. Aquisição de Imagens

No estudo foi utilizada a base RIM-ONE que contém 169 imagens da retina e, como a base apresenta algumas imagens com outros tipos de lesões, foram aproveitadas no método proposto 144 imagens, sendo 26 imagens que apresentam glaucoma em vários estágios e 118 são de olhos saudáveis, fornecida por três hospitais: Hospital Universitário de Canarias, Hospital Clínico San Carlos e Hospital Universitário Miguel Servet.

3.2. Segmentação

Na etapa de segmentação foram usados os algoritmos de Otsu e k-means, onde o Otsu busca determinar um limiar de forma a maximizar a variância entre classes. A operação

de limiarização consiste do particionamento dos *pixels* de uma imagem com n níveis de cinza em duas classes, objeto e o fundo [Bertholdo 2007].

O Otsu analisa o histograma de cores presente na imagem, de modo a encontrar o melhor limiar para separar o fundo da região de interesse onde o glaucoma se apresenta.

O k-means é um algoritmo de aprendizado não-supervisionado que procura formar grupos com base nos valores médios da distância euclidiana entre os atributos das diversas áreas em um conjunto de dados [Andrade et al. 2016].

O k-means separa uma imagem em 2 classes. Nesse caso o K é igual a 2, onde K representa a quantidade de centróides criados para auxílio no encontro das semelhanças dos dados. Uma forma de fazer isso é inserindo os centróides aleatoriamente, para que as iterações possam dividir as classes. Com finalidade de obter outros resultados também foi implementada a região circular em conjunto com o k-means.

Para identificar o glaucoma é necessário isolar a região de interesse onde a patologia se apresenta, segundo os oftalmologistas o glaucoma se manifesta na região de DO. Na tentativa de obter melhores resultados traçou-se uma circunferência em torno da região segmentada pelos algoritmos de Otsu e K-means. Desenhou-se um plano cartesiano representativo ilustrado na Figura 2, onde é necessário encontrar o valor do menor X, maior X, menor Y e maior Y de modo a calcular o diâmetro, o qual é adquirido quando encontrando a maior distância entre dois pontos, calculando-se, assim, o raio para delinear a circunferência de tudo que esteja dentro do raio.

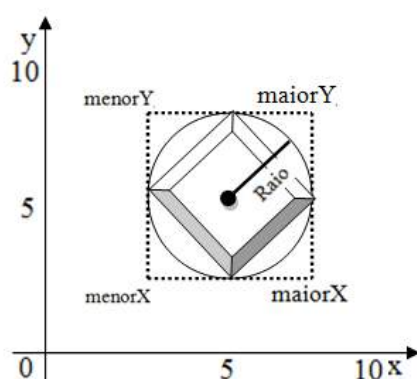


Figura 2. Ilustração do Plano Cartesiano.

A Figura 3 mostra três imagens, onde (a), é uma imagem glaucomatosa da retina, (b) é aplicado o algoritmo de Otsu para a segmentação e (c), utiliza-se o Otsu com a circunferência.

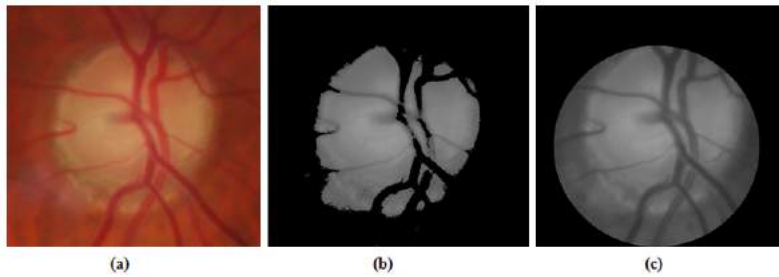


Figura 3. Imagem glaucomatosa da retina (a), Segmentação aplicando Otsu (b), Segmentação aplicando de Otsu com a região circular (c).

A Figura 4 mostra três imagens, onde (a) é uma imagem glaucomatosa da retina, (b) aplicou-se o algoritmo k-means para a segmentação, e (c) utilizou-se o k-means com a circunferência para segmentar a região de interesse.

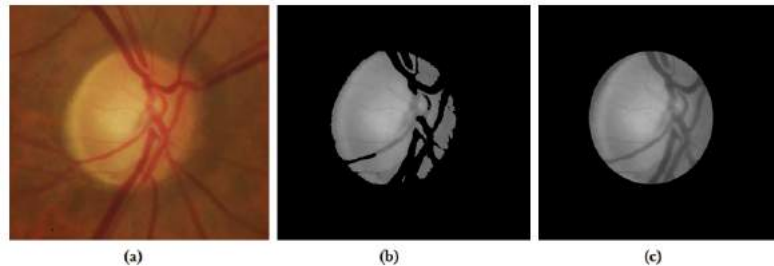


Figura 4. Imagem glaucomatosa da retina (a), Segmentação aplicando k-means (b), Segmentação aplicando k-means com a região circular (c).

3.3. Extração de Características

É possível caracterizar uma área contida em uma imagem por meio de extração de características estatísticas aplicando a análise de textura. Esta é uma abordagem natural que representa uma medida onde tal propriedade pode interpretar diversas informações visuais. Os descritores de textura contêm informações sobre a distribuição espacial, variação de luminosidade, suavidade, rugosidade, regularidade e descreve o arranjo estrutural das superfícies e as relações entre os pixels próximos [Oliveira e Fernandes 2016].

Nesta etapa a extração de característica foi desenvolvida utilizando descritores de texturas baseados em IDF. Os índices de diversidade são aplicados na ecologia para medir a biodiversidade em um ecossistema. Com a compreensão da estrutura filogenética da comunidade, é possível construir generalizações amplamente manuseadas para entender os reais processos que alteram as estruturas das comunidades [Moreira 2014]. Os IDFs são métricas de agrupamento em setores de uma área, de forma a estimar diversidade de uma população, na qual cada indivíduo pertence apenas a um grupo.

Nos IDFs *Phylogenetic Diversity* (PD) é calculado o somatório dos comprimentos dos ramos de cada classe e B é o número de ramificação da árvore, L_i é comprimento do ramo e A_i é a abundância média de classes que compartilham ramos, como mostrada na Equação 1.

$$BX \frac{\sum_i^B L_i A_i}{\sum_i^B A_i} \quad (1)$$

A Equação 2 mostra a representação do índice filogenético *Sum of Phylogenetic Distances* (SPD) que é a soma das distâncias filogenéticas entre cada par de classe e d_{mn} é a distância entre as classes m e n , a_m , abundância de classes m , S é o numero de classes no conjunto focal.

$$\left(\frac{S(S-1)}{2} \right) X \frac{\sum \sum m < n^2 m n^a m^a n}{\sum \sum m < n^a m^a n} \quad (2)$$

O *Mean Nearest Neighbour Distance* (MNND) trata-se da distância média do táxon mais próximo, onde d_{mn} é a distância entre as espécies m e n , a_m , é abundância de espécies m . A formula é mostrada na Equação 3.

$$\sum_m^S m i n (d_{mn}) a_m \quad (3)$$

O índice diversidade *Phylogenetic Species Variability* (PSV) é a variabilidade de classes filogenéticas, que retrata o grau em que as classes em uma comunidade são filogeneticamente relacionadas, como mostrado na Equação 4, onde, o trC corresponde a soma dos valores da diagonal de uma matriz $\sum C$, $'c$ e o somatório de todos os valores da matriz, n é o numero de classes e $'c$ é a media dos elementos da diagonal de C .

$$PSV = \frac{ntrC - \sum c}{n(n-1)} = 1 - 'c \quad (4)$$

O IDF *Phylogenetic Species Richness* (PSR) é a riqueza de classes e quantifica o número de classes em um grupo. O valor do PSR é encontrado multiplicando-se o número de classes n pela variabilidade da comunidade, conforme os parâmetros na Equação 5.

$$PSR = nPSV \quad (5)$$

Os IDFs foram utilizados para caracterizar a textura das regiões segmentadas, de modo, a extrair as características contidas em cada imagem segmentada pelos algoritmos Otsu e k-means.

3.4. Classificação

Após a extração das características com análise de textura baseados em IDF a próxima etapa é a classificação, que beneficia-se do *framework* WEKA já que o mesmo contém um acervo de algoritmos para aprendizado de máquina. Na classificação foram utilizados quatro classificadores *J48*, *BayesNet*, *AttributeSelectedClassifier* e *DecisionTable*, pelo fato de serem rigorosos em relação a presença de ruídos no processo de classificação para a detecção automática do glaucoma. Na literatura alguns trabalhos já os utilizaram e obtiveram bons resultados, manipulando os parâmetros com os valores padrões em conjunto com a validação cruzada de *k-folds*, sendo $k = 10$. Esse procedimento divide os atributos

em 10 grupos, de forma a realizar o treino em 9 grupos e operar um grupo para testes. Na realização de 10 cruzamentos, os grupos de teste são mesclados e ao final é gerada uma média, onde se configura o resultado.

3.5. Validação dos Resultados

As métricas de avaliação dos resultados foram ilustradas em uma matriz de confusão baseado em quatro valores: Verdadeiro Positivo (VP), que é o número de imagens corretas classificadas como glaucomatosas; Falso Positivo (FP), onde valida o número de imagens classificadas como saudáveis sendo que são glaucomatosas, Falso Negativo (FN), que são as imagens classificadas como glaucomatosas, porém são saudáveis e o Verdadeiro Negativo (VN) que resulta no número de imagens classificadas como saudáveis.

Para avaliar os resultados a fim de descobrir qual o melhor método desenvolvido utilizou-se os índices estatísticos que são: Sensibilidade, Especificidade e Acurácia.

Sensibilidade (S), é a capacidade de um teste diagnóstico identificar os VP nos indivíduos doentes, como mostra na Equação 6.

$$S = \frac{VP}{VP + FP} \quad (6)$$

Especificidade (E), trata-se da capacidade de um teste diagnóstico identificar os VN nos indivíduos sadios, como mostra na Equação 7.

$$E = \frac{VN}{VN + FP} \quad (7)$$

E Acurácia (A), é a proporção de acertos, ou seja, o total VP e VN da amostra estudada, como mostra na Equação 8.

$$A = \frac{VP + VN}{VP + FP + VN + FN} \quad (8)$$

4. Resultados

Os resultados obtidos na classificação dos métodos desenvolvidos para a detecção automática do glaucoma são mostrados nas Tabelas 1, 2, 3, 4, 5 e 6.

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos aplicando o algoritmo de Otsu para a segmentação e os descritores de textura baseados em IDF.

Tabela 1. Resultados da classificação com Otsu.

	FP	FN	VP	VN	Sensibilidade	Especificidade	Acurácia
BayesNet	3	1	115	25	99,1%	89,3%	97,2%
J48	2	1	116	25	99,1%	92,6%	97,9%
AttributeSelectedClassifier	2	1	116	25	99,1%	92,6%	97,9%
DecisionTable	2	0	116	26	100,0%	92,9%	98,6%

Entre os resultados obtidos da classificação mostrada na Tabela 1, o que obteve o melhor resultado foi o classificador *DecisionTable*, sendo que, das 144 imagens utilizadas, 142 foram consideradas corretas e 2 falsas, conseguindo uma sensibilidade de 100,0%, especificidade de 92,9% e acurácia 98,6%. O resultado menos significativo é do classificador *BayesNet*, que declarou 140 imagens como corretas e 4 falsas, alcançando uma sensibilidade de 99,1%, Especificidade de 89,3% e acurácia 97,2%.

A Tabela 2 mostra os resultados adquiridos aplicando o algoritmo de Otsu com a região circular e os descritores de textura baseados em IDF.

Tabela 2. Resultados da classificação com Otsu e a região circular.

	FP	FN	VP	VN	Sensibilidade	Especificidade	Acurácia
BayesNet	0	3	118	23	97,5%	100,0%	97,9%
J48	2	2	116	24	98,3%	92,3%	97,2%
AttributeSelectedClassifier	2	2	116	24	98,3%	92,3%	97,2%
DecisionTable	0	3	118	23	97,5%	100,0%	97,9%

Entre os resultados atingidos na Tabela 2, o melhor resultado foi com *DecisionTable*, que das 144 imagens analisadas foram consideradas que 141 estariam corretas e 3 falsas, resultando em uma porcentagem de acerto com sensibilidade de 97,5%, especificidade de 100,0% e uma acurácia com 97,9%. O pior resultado entre os classificadores foi o *J48*, onde considerou que 140 imagens estão corretas e 4 são falsas, chegando uma proporção do resultado com sensibilidade de 98,3%, especificidade 92,3% e acurácia de 97,2%.

A Tabela 3 apresenta os resultados da segmentação usando algoritmo K-means e os descritores de textura baseados em IDF.

Tabela 3. Resultados da classificação com o K-means.

	FP	FN	VP	VN	Sensibilidade	Especificidade	Acurácia
BayesNet	19	1	99	25	99,0%	57,8%	86,2%
J48	7	7	111	19	94,1%	73,1%	90,3%
AttributeSelectedClassifier	18	1	100	25	99,0%	58,1%	86,8%
DecisionTable	19	1	99	25	99,0%	56,8%	86,1%

Dos resultados exibidos na Tabela 3, o que apresentou resultado mais representativo foi o classificador *J48*, analisando 144, sendo que, foram classificadas 130 imagens como corretas e 14 sendo falsas, obtendo uma sensibilidade de 94,1%, especificidade em 73,1% e a uma acurácia de 90,3%. O resultado menos significativo é do classificador *DecisionTable* resultando no acerto de 124 imagens validada como corretas e 20 falsas, de modo a obter uma sensibilidade de 99,0%, especificidade de 56,8 e uma acurácia 86,1%.

A Tabela 4 mostra os resultados obtidos na classificação, aplicando o algoritmo k-means com a região circular para segmentação junto com descritores de textura baseados em IDF para extrair as características.

Tabela 4. Resultados da classificação com o k-means e a região circular.

	FP	FN	VP	VN	Sensibilidade	Especificidade	Acurácia
BayesNet	3	7	115	19	94,3%	88,9%	93,3%
J48	5	5	113	21	95,8%	79,2%	93,0%
AttributeSelectedClassifier	5	5	113	21	95,8%	79,2%	93,0%
DecisionTable	3	9	115	17	92,7%	87,5%	91,9%

Diante dos resultados apresentados na Tabela 4, o classificador *BayesNet* obteve o melhor resultado com uma porcentagem de sensibilidade com 94,3%, especificidade em 88,9% e acurácia com 93,3%, validando como corretas 134 imagens e 10 sendo falsas. O classificador que apresentou o pior resultado foi o *DecisionTable*, de maneira a obter uma sensibilidade em 92,7%, especificidade de 87,5% e acurácia com 91,9%, classificando 122 imagens como corretas e 22 sendo falsas.

A Tabela 5 mostra os resultados adquiridos através da junção de todas as características obtidas nos quatro métodos mostrados anteriormente.

Tabela 5. Resultados da classificação das características todos os métodos juntos.

	FP	FN	VP	VN	Sensibilidade	Especificidade	Acurácia
BayesNet	33	30	439	74	93,6%	69,2%	89,1%
J48	33	33	439	71	93,0%	68,3%	88,5%
AttributeSelectedClassifier	46	20	426	84	95,5%	64,6%	88,5%
DecisionTable	33	30	439	74	93,6%	69,2%	89,1%

Na Tabela 5 o classificador que obteve a maior relevância nos resultados foi o *DecisionTable* apresentando uma sensibilidade de 93,6%, especificidade de 69,2% e uma acurácia em 89,1%, sendo que, foram utilizadas 144 imagens, onde foram extraídas vinte características para cada imagem. O classificador que apresentou o pior resultado foi o *J48*, apresentando uma sensibilidade em 93,0%, especificidade de 68,3 e acurácia com 88,5%.

A Tabela 6 apresenta os resultados da comparação dos trabalhos relacionados com a metodologia desenvolvida.

Tabela 6. Comparação da metodologia dos trabalhos relacionados.

Trabalhos	Bases	Acurácia %
Santos e Veras (2012)	RIM-ONE	87,5%
Claro (2015)	RIM-ONE	93,67%
Santos et al. (2015)	RIO-ONE, DRISHTI-GS e DRIONS-DB	83,0%
Pinheiro (2015)	DRISHTI	91,75%
Metodologia	RIM-ONE	97,9%

A Tabela 6 mostra a porcentagem de acurácia dos trabalhos relacionados e da metodologia proposta, de modo, a analisar que a maior taxa de acurácia é da metodologia proposta obtendo 97,9% utilizando a base RIM-ONE com 144 imagens saudáveis

e com vários níveis de glaucoma. Os resultados apresentados na Tabela 6 mostram que em comparação com os demais trabalhos encontrados na literatura, o método proposto mostra-se promissor, pois, alcançou resultados bem significativos, e na maior parte dos casos, o melhor resultado. É importante salientar, que a comparação com os trabalhos é meramente subjetiva, pois os casos analisados variam, assim como as bases de imagens utilizadas, sendo estes, fatores primordiais para uma comparação fidedigna.

5. Conclusão

A partir dos resultados obtidos na classificação, pode-se concluir que, a metodologia proposta utilizando Otsu e k-means para segmentação do DO e os IDF na extração de características com descritores de textura apresentaram resultados expressivos. O método Otsu obteve melhores resultados que o método k-means, de forma a avaliar que o método Otsu foi mais eficiente para a detecção automática do glaucoma.

Referências

- Andrade, E. O., Sampaio, I. G. B., Viterbo, J., Silva, J. M. M., e Boscaroli, C. (2016). Identificação de perfis de consumo domiciliar de energia elétrica a partir de algoritmos de agrupamento. XII Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação.
- Bertholdo, F. A. R. (2007). Técnicas de limiarização para melhorar a qualidade visual de documentos históricos. Dissertação de Mestrado. Pós-Graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal de Minas Gerais.
- Claro, L. M. (2015). Detecção automática do glaucoma por extração de características e classificação. Curso de Sistemas de Informação da Universidade Federal do Piauí. Picos – PI, Brasil.
- Mello, A. A. P., Susanna, J. R., e Almeida, H. G. (2016). Glaucoma. 4. ed. Rio de Janeiro: Cultura Médica. 512 p.
- Moreira, J. A. (2014). Diferentes abordagens de análise da diversidade biológica da anurofauna do sul de minas gerais. Dissertação de Mestrado em Ecologia e Tecnologia Ambiental pela Universidade Federal de Alfenas – MG.
- Oliveira, W. E. B. e Fernandes, S. R. (2016). Classificação de padrões em imagens usando descritores de textura. Bacharelado em Sistemas de Informação.
- Pinheiro, A. F. C., Almeida, J. D. S., Junior, G. B., e Silva, A. C. (2015). Metodologia computacional para detecção automática do glaucoma em imagens de fundo de olho. Universidade Federal do Maranhão – São Luís – MA – Brasil.
- Resnikoff, S., Pascolini, D., Etyále, D. E., Kocur, I., Pararajasegaram, R., Pokharel, G. P., e Mariotti, S. P. (2004). Global data on visual impairment in the year 2002. Bulletin of the World Health Organization.
- Santos, L. M., Araújo, F. H. D., Claro, M. L., Silva, W. L., Silva, R. M. V., e Drummond, P. M. L. L. (2015). Implementação e comparação de um método de detecção e segmentação automática do disco óptico em diferentes bases de imagens da retina. Curso de Sistemas de Informação da Universidade Federal do Piauí. Picos – PI, Brasil.
- Santos, L. M. R. e Veras, R. M. S. (2012). Levantamento, descrição e detecção dos principais atributos para o diagnóstico de glaucoma. Universidade Federal do Piauí – UFPI, Brasil.

Simulação de Aplicação de Armadilhas no Combate ao *Aedes aegypti*

Alessandro M. Baldi¹, Eduardo Zambon¹, Patrícia D. Costa¹, Eduarda M. S. Montiel²

¹Departamento de Informática – Universidade Federal do Espírito Santo (UFES)
Av. Fernando Ferrari, 514 – Goiabeiras – 29.075-910 – Vitória – ES – Brazil

²Departamento de Medicina – Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG)
Av. General Carlos Cavalcanti, 4748 – Uvaranas – 84.030-900 – Ponta Grossa – PR – Brazil

alessandro.baldi@aluno.ufes.br, {zambon, pdcosta}@inf.ufes.br

eduarda.montiel@gmail.com

Abstract. *The Aedes aegypti mosquito is the main vector of Dengue Fever, Zika, Chikungunya and Yellow Fever diseases. This article describes a computer simulation of the mosquito behavior and of the mosquito traps effectiveness in a predefined geographic setting. The computer simulation models three fundamental aspects: (i) the reproduction of mosquitoes in foci, (ii) the growth of mosquito population, and (iii) the combat of vector through traps. The main goal of this simulation is to verify the most suitable places for the deployment of traps to combat mosquitoes, in order to decrease the chances of an epidemic outbreak. The main result of this work is a tool that contributes to the planning of vector combat, improving the effectiveness of prevention.*

Resumo. *O mosquito Aedes aegypti é o principal vetor das doenças Zika, Dengue, Chicungunha e Febre Amarela. Este artigo descreve a pesquisa em simulação computacional sobre o comportamento deste mosquito e sobre a eficácia de armadilhas em um certo cenário geográfico predefinido. A simulação computacional modela três aspectos fundamentais: (i) a reprodução dos mosquitos em focos, (ii) o crescimento da população de mosquitos, e (iii) o combate do vetor através de armadilhas. O objetivo principal desta simulação é a verificação dos locais mais adequados para a implantação de armadilhas com o propósito de combater os mosquitos, diminuindo as possibilidades de uma epidemia. Como resultado do trabalho foi desenvolvida uma ferramenta que contribui para o planejamento do combate ao vetor, melhorando a eficácia das ações de prevenção.*

1. Introdução

A dinâmica da transmissão de doenças virais como Dengue, Febre Amarela, Chicungunha e Zika é complexa e tem motivado pesquisadores a realizar estudos sobre os múltiplos fatores relacionados à circulação e persistência dessas doenças nas comunidades humanas [Morato et al. 2005, Vasconcelos 2015]. O aparecimento e o ressurgimento dessas doenças arbovirais transmitidas pelo *Aedes aegypti* e *Aedes albopictus* continuam a ser uma grande ameaça nos trópicos e subtropicais [Braga and Valle 2007, Sivagnaname et al. 2012]. Um dos desafios que o Brasil enfrenta atualmente é a vigilância

epidemiológica para reconhecer precocemente áreas com transmissão de doenças e minimizar o impacto na população [Vasconcelos 2015, Johnson et al. 2017], uma vez que a associação entre os índices atualmente utilizados e a transmissão dessas doenças não têm provado ser satisfatoriamente preditivas das epidemias [Sivagnaname et al. 2012].

A expectativa dos pesquisadores da área é de que índices preditivos confiáveis e úteis possam vir a ser desenvolvidos com a ajuda de ferramentas entomológicas eficientes e apropriadas. Embora se tenha registrado algum progresso neste domínio, ainda há muito a aprender para garantir uma vigilância epidemiológica mais eficaz [Sivagnaname et al. 2012, Morato et al. 2005]. Nesse sentido, o objetivo principal deste artigo é descrever um sistema de simulação computacional utilizando a ferramenta *Grove* (*G*Raph based *O*bject-*O*riented *V*erification) [Ghamarian et al. 2012, Rensink 2003] de modo a permitir uma análise dos locais mais adequados para a implantação de armadilhas para o controle populacional do mosquito *Aedes*.

2. O Combate ao Mosquito *Aedes*

As doenças arbovirais estão emergindo e ressurgindo em diferentes partes do mundo. A incidência de Dengue, por exemplo, aumentou 30 vezes com o crescimento da expansão geográfica para novos países. Estima-se que 50 milhões de casos de Dengue ocorrem anualmente e aproximadamente 2,5 bilhões de pessoas vivem em países endêmicos para Dengue [Sivagnaname et al. 2012, Johnson et al. 2017]. O controle vetorial tem sido considerado um importante aliado na prevenção e controle das infecções. Como sugerido em [Sivagnaname et al. 2012], reduzir a densidade dos vetores para níveis baixos é a única medida atualmente disponível para prevenir a transmissão de doenças como a Dengue. Para a Organização Mundial da Saúde (OMS) há uma necessidade urgente de novas ferramentas de controle de vetores para o equilíbrio das populações de *Aedes* [WHO 2017].

Algumas novas e promissoras ferramentas de controle de vetores são objeto de pesquisa e atualmente estão sendo testadas em campo para seu uso em intervenções de saúde pública. Dentre essas ferramentas, destacam-se os materiais tratados com inseticida (ITMs), que consistem em redes insecticidas de longa duração, cortinas e tapeçarias; e as armadilhas de oviposição letais (*ovitrap*s), que atraem e matam as fêmeas que realizam a oviposição no local, assim como seus descendentes que ficam presos na armadilha [Lok et al. 1977, Johnson et al. 2017]. Essas armadilhas necessitam de visitas periódicas dos agentes de saúde para a contagem manual dos vetores. Com isso, é possível identificar localidades com maior concentração dos mosquitos para realizar ações efetivas e centralizadas no combate às doenças transmitidas pelos vetores.

A simulação proposta neste artigo modela o comportamento do mosquito *Aedes* e da armadilha para o mosquito. Dessa forma, consegue-se simular ações de combate e verificação da população de mosquitos em uma determinada região. As próximas seções detalham o cenário de simulação e a implementação da simulação.

3. Cenário da Simulação

Utilizando-se o panorama de uma determinada região (um bairro ou uma cidade, por exemplo), o cenário da simulação é formado por casas, mosquitos, ovos, agentes de combate ao vetor e armadilhas.

As casas representam os locais em que os mosquitos podem fazer a oviposição e que podem possuir focos (criadouros do mosquito) ou armadilhas. No caso do mosquito fazer a oviposição em focos, há a evolução dos ovos para novos mosquitos após 20 dias [Maimusa et al. 2016]. De outra forma, a oviposição em armadilhas faz com que o mosquito seja morto e os ovos não evoluam para novos mosquitos [WHO 2017, Sivagnaname et al. 2012]. O agente de saúde, ao fazer uma verificação dois dias após a oviposição do mosquito, consegue observar que há ovos e que é necessário um controle vetorial do mosquito na região em que a armadilha está presente [Dzul-Manzanilla et al. 2016]. O controle consiste em fumacê e visita domiciliar, que faz com que ovos, mosquitos e focos presentes na região sejam exterminados [Dzul-Manzanilla et al. 2016].

Os mosquitos sobreviventes permanecem fazendo a oviposição por até 37 dias [Maimusa et al. 2016]. Durante a sua vida, os mosquitos ficam livres para sobrevoar e fazer a oviposição em até 100 metros do seu ponto de nascimento [Dzul-Manzanilla et al. 2016]. Fenômenos climáticos também estão no cenário, de forma que os focos combatidos possam voltar após uma determinada chuva, por exemplo.

A simulação foi construída baseando-se em fatos científicos reais, de forma que se aproxima ao que acontece na vida real. Nas próximas seções, há o detalhamento da ferramenta utilizada e implementação da simulação.

4. A Ferramenta *Groove*

O *Groove* (GRaph based Object-Oriented VERification) é um *software* desenvolvido na Universidade de Twente (Holanda), utilizado para verificação e simulação de sistemas. O *software* utiliza grafos para representar os estados do sistema e aplica regras de reescrita (produção/transformação) de grafos para modelar a dinâmica do sistema [Rensink 2003, Rensink and Zambon 2017].

A ferramenta possui um editor para criar regras de produção de grafos, um simulador para visualizar as transformações dos grafos introduzidas pelas regras de produção e um gerador para explorar espaços de estados automaticamente [Rensink and Zambon 2017]. Adicionalmente, o *Groove* trabalha com o formato aberto de arquivo GXL (*Graph eXchange Language*), que provê uma forma programática padrão para salvar os respectivos grafos.

Inicialmente, para se modelar uma simulação no *Groove* é necessária a implementação de um cenário inicial como um grafo de entrada. Os grafos manipulados pelo *Groove* são formados por nós e arestas direcionadas. Arestas são anotadas com *rótulos* que caracterizam a relação entre os nós. Além disso, nós podem possuir atributos (valores inteiros e Booleanos) que descrevem certas propriedades de cada nó.

Os grafos são transformados pelo *Groove* através de regras. Uma regra também consiste de um grafo, mas elementos (nós e arestas) da regra são subdivididos em subgrafos L e R . O subgrafo L pode ser visto como a pré-condição para a aplicação da regra, e o grafo R como o efeito da aplicação. Uma regra é aplicada sobre um grafo hospedeiro G (isto é, o grafo que sofrerá a transformação). Essa aplicação requer encontrar uma correspondência de L em G , substituindo-a pelo subgrafo R , formando um novo grafo H [Ramos et al. 2016].

A figura 1 apresenta a sintaxe e semântica do *Groove* na aplicação de regras. O papel dos nós e arestas em uma regra é identificado pelo tipo de tracejado na aresta e no entorno do nó. Elementos em tracejado fino (o nó indicado por “nó3” e a aresta com rótulo “aresta2” na figura 1) são elementos que devem estar presentes no estado atual da simulação e que são removidos quando a regra é aplicada. De forma similar, elementos em traço comum fino (“nó1”, “nó2” e “aresta1”) também são elementos que devem estar presentes no estado atual mas estes são preservados pela aplicação da regra. Elementos em tracejado grosso (“nó5” e “aresta4”) não podem ocorrer no estado atual, caso contrário a regra não é aplicável. Finalmente, elementos em traço comum grosso (“nó4” e “aresta3”) são criados pela regra.



Figura 1. Sintaxe e Semântica de Regras de Reescrita no Groove

5. Modelagem da Simulação

Essa seção apresenta os detalhes da simulação implementada no *Groove*. O cenário de simulação é feito em rodadas, nas quais as ações dos mosquitos e dos agentes são realizadas. Ao final de cada rodada, um contador de dias é incrementado até que um dado limite seja atingido.

A figura 2 exhibe os tipos de nós utilizados na simulação. O elemento “casa” (figura 2a) possui arestas “voar” que ligam outros elementos “casa”, indicando a possibilidade do mosquito voar de uma casa a outra. Também há possibilidade de uma casa possuir nós “ovos” (figura 2d) ou “mosquitos” (figura 2c). “Mosquito” (figura 2c) possui uma aresta indicando a casa em que nasceu, dois atributos Booleanos indicando se já realizou oviposição e voou em uma rodada e um inteiro indicando a idade do mosquito em dias. O elemento “agente” (figura 2b) foi especificado de forma a sempre estar em alguma casa e possui um contador de visitas para cada casa visitada. “Ovos” (figura 2d) apresenta a idade em dias e um controle da atualização da idade por rodada.



Figura 2. Tipos

5.1. Cenário Inicial

De acordo com o que foi apresentado na seção 4, inicialmente é definido o cenário de execução da simulação, especificando as casas, as conexões entre as casas para vôo do mosquito e a localização de mosquitos/ovos iniciais. As figuras 3a e 3b, mostram um exemplo simples de cenário inicial, utilizando uma casa com um foco, uma casa com uma

armadilha e uma casa com um mosquito. Ao lado há a respectiva modelagem no *Groove*. Convém observar que na modelagem há a indicação do local em que o mosquito nasceu (figura 3b) e os locais em que o mosquito pode voar, indicados pelas arestas “voar”.

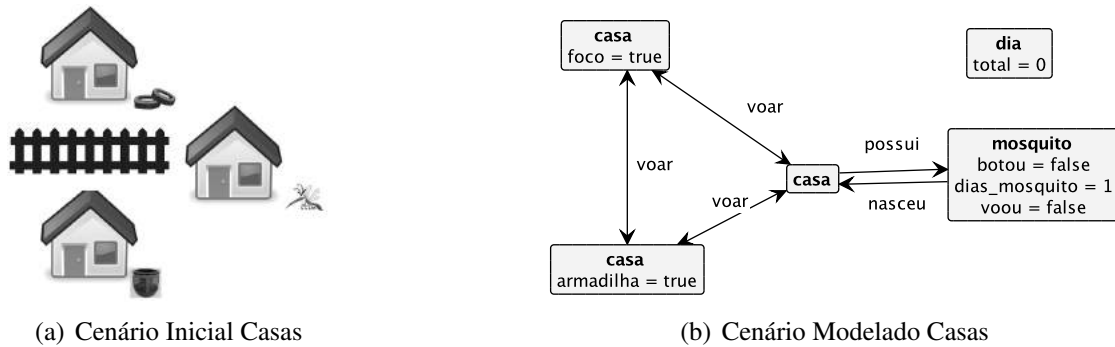


Figura 3. Cenário Inicial

Vale notar que cada caso de estudo requer uma modelagem de cenário inicial nova. Assim, para melhorar a usabilidade do protótipo, foi feita uma integração do *Groove* com o *OpenStreetMap*, uma plataforma aberta e colaborativa de mapeamento das ruas que possui uma API para utilização gratuita [OpenStreetMap 2017]. Utilizando a ferramenta “Exportar” presente na interface principal do *OpenStreetMap*, é possível extrair partes de um mapa para o formato OSC.XML. Tal formato indica os “waypoints” (coordenadas geográficas de pontos específicos no mapa) de todas as construções em uma determinada área. Uma casa com um plano quadrado, por exemplo, possui quatro “waypoints” no *OpenStreetMap* com as coordenadas de cada um dos vértices.

A integração com o *Groove* se dá a partir da conversão para arquivos GXL, formato de armazenamento utilizado pelo *Groove*. É feito um cálculo central do “waypoint” de cada uma das construções no mapa, com a longitude e latitude conhecida para o centro de cada uma das construções, sendo cada construção transformada em um nó “casa”. Utilizando também a longitude e latitude do centro, é calculada a distância para outros nós, criando as arestas “voar” entre as casas que se encontram a menos de 100 metros de distância. Com essa integração é possível verificar o avanço do *Aedes aegypti* utilizando dados do mundo real, facilitando o trabalho de modelagem do grafo inicial.

A figura 4 representa a região da Universidade Federal do Espírito Santo no *OpenStreetMap*. A mesma região foi convertida para o *Groove* (figura 5), indicando todas as construções da área (nós) e as possibilidades de vôo do *Aedes aegypti* entre as construções (arestas “voar”). Convém destacar que embora o grafo fique bastante confuso visualmente, isto não representa um problema pois o grafo é manipulado de forma automática pela ferramenta, e a conversão de formatos também é automática.

Utilizando o grafo inicial apresentado na figura 5, foi desenvolvido um estudo utilizando o simulador para a colocação de armadilhas em determinadas áreas. Na simulação, colocou-se um único mosquito *Aedes aegypti* na construção que fica ao centro do mapa: o restaurante universitário. As armadilhas na simulação foram manualmente colocadas a uma certa distância do local em que o mosquito nasceu. Essa distância foi variada durante os experimentos, conforme descrito na seção 6.



Figura 4. *OpenStreetMap*

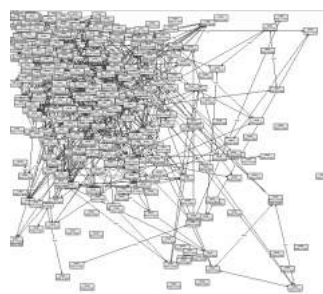


Figura 5. Exportação para o *Groove*

5.2. Regras da Simulação

Na simulação há um controle temporal do que está acontecendo por rodada em dias, impedindo por exemplo que um mesmo nó “mosquito” bote ovos duas vezes no mesmo dia. O controle é feito a partir de um conjunto de regras que faz a contagem de dias, obrigando que todas as outras regras sejam executadas antes da próxima sequência de dia.

De uma forma geral a simulação segue o seguinte algoritmo.

enquanto dia atual \leq total dias simulação:

 A cada dia:

 Atualização do dia dos ovos/mosquitos;

 Vôo do mosquito, deposição dos ovos.

 Após 2 dias de ovos na armadilha:

 Surgimento de agentes e combate aos focos/ovos/mosquitos.

 A cada 15 dias: volta dos focos desativados (simulação de chuva).

 Após 20 dias de postura dos ovos: eclosão de novos mosquitos.

 Após 38 dias: falecimento do mosquito.

São apresentadas aqui quatro regras da simulação, de forma a ilustrar a implementação feita no *Groove*. Por limitações de espaço, as demais regras não são mostradas nesse texto mas são similares às selecionadas para discussão. O conjunto completo de regras da simulação está disponível no endereço apresentado na seção 8.

O vôo do mosquito é regido por regras de vôo, uma delas é a “Voo”, mostrada na figura 6a. Um mosquito é selecionado pela regra e o seu vôo é indicado através da remoção e inclusão da aresta “possui” de uma casa antiga para outra casa. Aqui vale destacar que a seleção do mosquito e das casas é feita pelo *Groove* de forma aleatória, a cada aplicação da regra. Com isso, é possível obter comportamentos variados em diferentes execuções da simulação. Ainda na regra da figura 6a, a idade do mosquito é incrementada após o seu voo, e um *flag* Booleano é atualizado para impedir que um mesmo mosquito seja selecionado para voar novamente nesta mesma rodada.

A regra “Eclode”, exibida na figura 6b, especifica que cada nó “ovos” com 20 dias de rodada vira um nó “mosquito”, ligado por uma aresta “nasceu” ao nó “casa” de nascimento. Novamente por limitações de espaço para apresentação, a figura 6b na verdade exhibe somente um fragmento da regra, ilustrando a criação de um único mosquito a partir de um conjunto de ovos. Na regra completa implementada de fato na simulação, são criados 10 novos mosquitos. Um novo nó “mosquito” é criado com três atributos: um Booleano “botou” para verificação se o determinado mosquito já colocou ovos no dia, um Booleano “voou” para verificação de vôo no dia e um inteiro “dias_mosquito” para controle da idade do mosquito.

“Armadilha” é a regra apresentada na figura 6c que faz o controle das armadilhas, criando um nó “agente” quando o nó “ovos” está no terceiro dia, através do controle no inteiro “dias_mosquito”. O agente possui um inteiro “visitas” que faz o controle decrescente de visitas em cinco nós (ou seja, em casas distantes no máximo 500 metros).

Uma das regras de combate do agente é a “Combate Ovos” que está apresentada na figura 6d. A regra faz a exclusão do nó “ovos” quando o nó “agente” estiver no nó “casa” respectivo. Além do combate a ovos, existem duas regras de combate semelhantes que combatem mosquitos e focos.

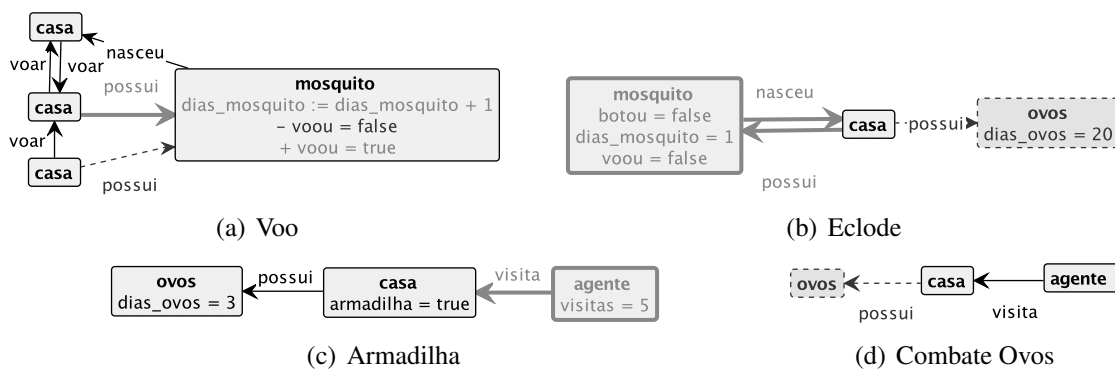


Figura 6. Exemplos de Regras da Simulação

5.3. Critérios de Parada

Conforme descrito na seção anterior, a simulação no *Groove* pode ser configurada para parar em um determinado dia e apresentar o cenário completo deste dia. Além disso, a simulação também termina quando uma das duas condições abaixo for satisfeita.

1. Mosquito e ovos totalmente combatidos: quando os mosquitos e ovos não existem mais no cenário, ou seja, quando não houver nenhum nó “mosquito” ou “ovos”, a execução é interrompida pois o mosquito foi erradicado.
2. Mosquito ou ovos em todas as casas: a execução é interrompida quando há um cenário de epidemia, ou seja, quando há um nó “mosquito” ou “ovos” em todas as casas.

6. Resultados

O simulador foi configurado para executar o ambiente durante 30 dias em uma exploração do espaço de estados de forma linear randômica [Ghamarian et al. 2012]. Foram executados testes com nenhuma armadilha, uma a três armadilhas posicionadas a 100 metros e uma a duas armadilhas a 200 metros do ponto de origem do mosquito. A tabela da figura 7 mostra o resultado da média de 10 execuções completas (por 30 dias) da simulação. Nas colunas “Mosquito” e “Ovos” há o pior caso, isto é, o caso em que não houve total combate do mosquito *Aedes aegypti*. Já a coluna “Combate Total” exhibe o número médio de dias necessários para o combate total (erradicação) do mosquito. Esse resultado representa o melhor caso e também foi calculado como a média entre 10 execuções da simulação que terminaram com erradicação.

Armadilhas	100 metros			200 metros		Sem Armadilhas	
	Mosquitos	Ovos	Combate Total	Mosquitos	Ovos	Mosquitos	Ovos
1	3,72	339	4,7 dias	46,6	2057	70,5	3692,5
2	0,8	93	3,9 dias	36,2	1875		
3	0	39	3 dias				

Figura 7. Tabela Geral de Resultados

Os valores da tabela mostram que o aumento do número de armadilhas reduziu a população de mosquitos e ovos, tanto para as distâncias de 100 quanto de 200 metros. No cenário de 100 metros é interessante notar que o combate total foi efetuado e que diminuiu à medida em que mais armadilhas foram incluídas. Para 200 metros, o combate total não foi encontrado durante as execuções.

Outro resultado interessante é que a disposição das armadilhas e dos mosquitos no cenário alteram significativamente os resultados finais. A armadilha posicionada a uma distância de 200 metros apresenta um resultado pior que 100 metros, dando liberdade ao mosquito na continuação da reprodução, aumentando o risco de uma epidemia no cenário.

É interessante notar que os resultados mostram que há uma diminuição da população de mosquitos e ovos independentemente da posição ou do número de armadilhas, ou seja, apenas uma armadilha faz diferença no combate do mosquito.

7. Trabalhos Correlatos

Uma simulação utilizando o *Groove* também pode ser vista na modelagem de uma colônia de formigas [Ghamarian et al. 2012]. Nesse trabalho, essa simulação foi utilizada como *benchmark* do desempenho da ferramenta, e mostrou que o *Groove* pode ser uma interessante ferramenta para construção de simuladores.

Uma armadilha da dengue do tipo *ovitrap* pode ser vista no desenvolvimento de sistemas geográficos para acompanhamento dos agentes de saúde [Moraes et al. 2015]. Neste trabalho, os autores desenvolveram um sistema em que o usuário faz o monitoramento da armadilha e envia os dados para um mapa. Utilizando a ideia destes autores, algo similar poderia ser integrado ao simulador aqui descrito, incluindo a recepção de dados em tempo real, com obtenção de informações das armadilhas e da cidade para que os agentes de saúde consigam descobrir uma melhor forma na distribuição das armadilhas, prevenindo uma possível epidemia do vetor.

Uma outra abordagem utilizando a tecnologia no combate à dengue é [Fiorini et al. 2016] em que os autores utilizam a mineração em redes sociais para a aplicação dos dados no combate ao mosquito *Aedes aegypti* e *Aedes albopictus*. Utilizando a mesma ideia dos autores, dados da mineração poderiam ser utilizados neste trabalho de forma a integrar dados do cenário de entrada para fazer previsões utilizando o simulador.

Em [Bacani et al. 2015] é feita uma modelagem para a dinâmica populacional do *Aedes aegypti* via simetrias de Lie. Esse texto é outro trabalho descrevendo a dinâmica vital e espacial de vôo do *Aedes aegypti* e sua relação com a população humana. As equações dessa pesquisa poderiam ser integradas no simulador aqui descrito para maior precisão do vôo do mosquito.

Em [Lima et al. 2014] é apresentado um *framework* especializado na simulação do *Aedes aegypti*. Construído sobre o *TerraMe* com dados geográficos, o *framework* permite a construção de intervenções para auxiliar no combate à dengue. O *framework* leva em conta a simulação do ciclo de vida do mosquito, densidade demográfica humana, mobilidade humana, terreno da região e transmissão da dengue [Lima et al. 2014]. Por outro lado, o *framework* não leva em conta a intervenção por armadilhas como especificada no presente artigo.

8. Conclusão e Trabalhos Futuros

A modelagem da simulação captura de forma simples o comportamento do mosquito *Aedes aegypti*, vetor de infecções virais. De acordo com nossos conhecimentos, não existem outras ferramentas que simulem o comportamento epidemiológico do *Aedes aegypti* e levem em conta a utilização de uma armadilha como a desta pesquisa. Além disso, a implementação no *Groove* pode ser adaptada a diferentes contextos e pesquisas. Dessa forma, órgãos responsáveis pela saúde e controle vetorial podem fazer o uso da ferramenta para analisar áreas mais vulneráveis, planejando ações e inserindo novas informações no simulador.

Vale destacar que é possível construir cenários de simulação reais e complexos, baseados em informações de mapas e outras bases de dados. Isso foi ilustrado pela integração feita com o *OpenStreetMap* proposta por este artigo. De forma similar, é possível criar programas adicionais que façam a extração de dados de outras fontes (informações de agentes de saúde, mineração de dados, etc.) e convertam os dados em arquivos GXL para simulação no *Groove*. A mineração de dados de notícias, por exemplo, pode informar regiões com o vetor e adicioná-las automaticamente ao simulador, aumentando a precisão na simulação.

Em um próximo passo da pesquisa, há o interesse de se tornar a simulação mais precisa, com a inclusão de novos elementos do contexto, tais como: condições do tempo (temperatura, clima, etc), hora do dia, quantidade populacional, movimentação populacional, etc. Além desses elementos, busca-se a obtenção também de resultados a respeito da transmissão das doenças ao inserir vírus nos vetores, o que tornaria possível a análise da propagação de doenças. Finalmente, ao invés da colocação manual das armadilhas para simular os acontecimentos, o simulador também poderia levantar os melhores pontos na região para a inserção das armadilhas.

A simulação do *Aedes aegypti* em um cenário com armadilhas através da ferramenta *Groove* mostrou-se importante para o desenvolvimento de uma pesquisa mais ampla na área. Ela favorece a integração de informações a respeito de uma região com a possibilidade de instalação da armadilha em locais adequados. A implementação da simulação no *Groove* e do código que faz a conversão de mapas do *OpenStreetMap* para grafos estão disponíveis em código aberto no link <https://github.com/alexnede/AedesSimulator>.

Referências

- Bacani, F., Freire, I. L., Maidana, N. A., and Torrisi, M. (2015). Modelagem para a dinâmica populacional do *aedes aegypti* via simetrias de Lie. *Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics*, 3(1).

- Braga, I. A. and Valle, D. (2007). *Aedes aegypti*: histórico do controle no Brasil. *Epidemiologia e serviços de saúde*, 16(2):113–118.
- Dzul-Manzanilla, F. et al. (2016). Indoor resting behavior of *aedes aegypti* (diptera culicidae) in Acapulco, Mexico. *Journal of Medical Entomology*.
- Fiorini, S. T. et al. (2016). Vigilância entomológica da dengue, zika e chikungunya: Uma solução baseada em redes sociais e dispositivos móveis. *16º Workshop de Informática Médica*.
- Ghamarian, A. H., de Mol, M., Rensink, A., Zambon, E., and Zimakova, M. (2012). Modelling and analysis using GROOVE. *International journal on software tools for technology transfer*, 14(1):15–40.
- Johnson, B. J., Ritchie, S. A., and Fonseca, D. M. (2017). The state of the art of lethal oviposition trap-based mass interventions for arboviral control. *Insects*, 8(1):5.
- Lima, T. et al. (2014). A framework for modeling and simulating *aedes aegypti* and dengue fever dynamics. In *Proceedings of the 2014 Winter Simulation Conference*, pages 1481–1492. IEEE Press.
- Lok, C., Kiat, N., and Koh, T. (1977). An autocidal ovitrap for the control and possible eradication of *aedes aegypti*. *The Southeast Asian journal of tropical medicine and public health*, 8(1):56–62.
- Maimusa, H. A., Ahmad, A. H., Kassim, N. F. A., and Rahim, J. (2016). Age-stage, two-sex life table characteristics of *aedes albopictus* and *aedes aegypti* in Penang Island, Malaysia. *Journal of the American Mosquito Control Association*, 32(1):1–11.
- Moraes, L. et al. (2015). Sistema web de baixo custo geolocalizador para prevenção de casos da dengue. *Seminário Integrado de Software e Hardware*.
- Morato, V. et al. (2005). Infestation of *aedes aegypti* estimated by oviposition traps in brazil. *Revista de saude publica*, 39(4):553–558.
- OpenStreetMap (2017). OpenStreetMap. <http://www.openstreetmap.org>.
- Ramos, A. S., Zambon, E., and Boeres, M. C. S. (2016). Aplicação de métodos de busca guiada na exploração do espaço de estados de gramáticas de grafos. In *Anais do XLVIII - Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*. SOBRAPO – Sociedade Brasileira Pesquisa Operacional.
- Rensink, A. (2003). The GROOVE simulator: A tool for state space generation. In *International Workshop on Applications of Graph Transformations with Industrial Relevance*, pages 479–485. Springer.
- Rensink, A. and Zambon, E. (2017). GROOVE - GRaphs for Object-Oriented VERification. <http://groove.cs.utwente.nl>.
- Sivagnaname, N., Gunasekaran, K., et al. (2012). Need for an efficient adult trap for the surveillance of dengue vectors. *Indian Journal of Medical Research*, 136(5):739.
- Vasconcelos, P. F. d. C. (2015). Doença pelo vírus zika: um novo problema emergente nas américas? *Revista Pan-Amazônica de Saúde*, 6(2):9–10.
- WHO (2017). World Health Organization: Dengue Control. <http://www.who.int/denguecontrol/research/en/>.

Segmentação de Dentes em Imagens Radiográficas Periapicais utilizando uma adaptação do Método do Gradiente

Artur A. Silva¹, Aristófanés C. Silva¹, Anselmo C. de Paiva¹, Raisa Sales de Sá²,
Melaine Lawall², Erika M. Pereira², Laise Nascimento Correa Lima²

¹ Núcleo de Computação Aplicada (NCA) - Universidade Federal do Maranhão (UFMA)
Caixa Postal 65.085-580 — São Luís — MA — Brasil

²Departamento de Odontologia - Universidade Federal do Maranhão (UFMA)

{artur.albuq.s,aricsilva}@gmail.com, raisadesa@hotmail.com

{melainelawall,erika_mperreira}@yahoo.com.br, laiselima@msn.com

Abstract. *As an individual ages, the incidence of caries increases. As such, the precocious detection of these lesions is important to conduct treatment. Caries detection are generally helped by radiographic images. Various computational methods have been proposed for this end. This article proposes a method of tooth segmentation in periapical radiographic images, utilizing a technique called gradient method. This article uses an image base with around 235 images, of which 20 were used for tests. The results found were promising, but there is still a necessity to improve even more the technique used.*

Resumo. *À medida em que um indivíduo envelhece, a incidência de cáries aumenta. Dessa forma, a detecção precoce dessas lesões é importante para que se possa realizar o tratamento. A detecção de cáries é geralmente auxiliada por imagens radiográficas. Várias técnicas computacionais tem sido propostas para tal fim. Esse artigo propõe um método de segmentação de dentes em imagens radiográficas periapicais, utilizando uma técnica denominada método do gradiente. O trabalho utiliza uma base de imagens com cerca de 235 imagens, das quais 20 foram usadas para teste. Os resultados encontrados foram promissores, mas ainda há necessidade de aprimorar ainda mais a técnica utilizada.*

1. Introdução

De acordo com a Pesquisa Nacional de Saúde Bucal - Projeto SBBrasil, conduzida pelo Ministério da Saúde em 2010 que coletou dados de saúde bucal, aos 5 anos de idade, 46,6% das crianças brasileiras estão livres de cárie na dentição decídua. Aos 12 anos, 43,5% apresentam esta condição na dentição permanente. Nas idades de 15 a 19, 35 a 44 e 65 a 74 anos esses percentuais foram 23,9%, 0,9% e 0,2%, respectivamente. Esses dados indicam um crescimento na incidência de cárie à medida que o indivíduo envelhece. A detecção de cárie atualmente é feita pelo exame clínico aliado a um exame radiográfico. De acordo com Silva et al. (2013) o exame radiográfico se mostra superior ao exame clínico para o diagnóstico de cáries. Estes elevados índices de incidência de cárie nos motivam a buscar métodos para a detecção de cáries em imagens radiográficas. É objetivo deste trabalho propor um método para segmentação de dentes em imagens digitais radiográficas periapicais.

Outros trabalhos já foram realizados com esse objetivo. Dentre eles, destacamos Jain et al. (2003), trabalho no qual este artigo fortemente se baseou. Jain e Chen (2003) propuseram outra técnica de segmentação, denominada método da probabilidade. Esta técnica, de acordo com Coelho e Silva (2005), apresenta resultados semelhantes a técnica do gradiente citada anteriormente, diferindo apenas no tempo de execução, sendo a técnica proposta por Jain e Chen (2004) a mais rápida.

2. Material e Métodos

A base de imagens utilizada na pesquisa possui cerca de 235 imagens radiográficas periapicais. Radiografias periapicais se caracterizam por mostrarem o dente por completo, da coroa até a base da raiz ligada a gengiva. Estas imagens foram fornecidas por especialistas da Universidade Federal do Maranhão (UFMA). Das 235, apenas 20 imagens foram usadas para os testes deste artigo, pois o trabalho ainda está em uma fase inicial.

Para a segmentação do dente foi utilizado uma adaptação do método do gradiente, sugerido por Jain et al. (2003). O método do gradiente originalmente utiliza a imagem M , detalhada mais à frente nesta seção. Para a extração da coroa, a adaptação citada utiliza por sua vez outra imagem auxiliar, resultado da aplicação de uma erosão [Gonzalez and Woods 2006] e o detector de bordas de Canny [Canny 1986]. Um dente é dividido em duas partes principais, a coroa, que é a parte acima da gengiva e a raiz que é a parte abaixo da gengiva. A segmentação foi dividida em duas etapas, a etapa de detecção da coroa e a etapa de detecção da raiz. Como a coroa possui um contraste com o fundo maior que o da raiz, extraímos a coroa primeiro e baseado no contorno da coroa, extraímos o contorno da raiz. Radiografias dentárias geralmente não possuem um contraste alto, o que deixa muito complexo extrair automaticamente os contornos dos dentes. Para simplificar a extração, selecionamos manualmente uma região retangular R e um ponto c da imagem de entrada I . R contém todo o dente e c é chamado de *Centro da Coroa*.



Figura 1. Representação do retângulo R e ponto c

Primeiramente, aplicamos a técnica da Erosão na imagem de entrada I para aumentar a separação entre os dentes. Em seguida definimos uma imagem auxiliar, a partir da imagem erodida I e aplicando o detector de bordas de Canny obtemos a imagem C . Foi feita uma varredura radial da coroa, que consiste em delimitar diversas linhas a partir do seu centro, variando o ângulo como na Figura 2. Para cada linha ordenamos os pontos em termos de $C(x,y)$ e selecionamos os três maiores. Tendo \overline{M} como a média entre os valores salvos de $C(x,y)$ definimos a confiabilidade $R(x,y)$ de cada candidato a ponto de contorno:

$$R(x, y) = \begin{cases} e^{-\alpha(C(x,y)-\overline{M})^2} & , \text{ se } C(x, y) < \overline{M} \\ 0 & , \text{ se } C(x, y) \geq \overline{M} \end{cases} \quad (1)$$



Figura 2. Varredura radial, resultado da erosão e Canny e imagem M

Onde α é uma constante que impede $R(x,y)$ de decair rapidamente. Extraído o contorno da coroa passamos então para o contorno da raiz. Calculamos o gradiente da imagem I já erodida, $|\nabla I|$ onde:

$$|\nabla I| = \sqrt{(I(x, y) - I(x, y - 1))^2 + (I(x, y) - I(x - 1, y))^2} \quad (2)$$

Devido à proximidade dos dentes vizinhos, há uma interferência entre os contornos. Para diminuir esse problema definimos uma imagem auxiliar M :

$$M(x, y) = B(x, y)|\nabla I(x, y)| \quad (3)$$

onde

$$B(x, y) = \begin{cases} 0 & , \text{ se } \nabla I(x, y) \cdot E(x, y) < 0 \\ 1 & , \text{ restantes casos} \end{cases} \quad (4)$$

$\nabla I(x, y)$ é o vetor gradiente no ponto (x,y) , $E(x,y)$ é o vetor do *Centro da Coroa* até o ponto (x,y) e “ \cdot ” é o produto escalar.

Pegamos o contorno da coroa, mais especificamente o ponto mais baixo à esquerda da coroa e o ponto mais baixo à direita da coroa e definimos estes como sendo os primeiros pontos da raiz do lado esquerdo e direito respectivamente. Definimos então o novo ponto em relação ao ponto anterior de seu contexto, definimos o contexto a partir de dois atributos I_{inner} como a intensidade interior do contorno, e I_{outer} como a intensidade exterior do contorno. Para o lado esquerdo a intensidade interior é a intensidade média de uma região a direita do contorno e a intensidade exterior é a intensidade média de uma região a esquerda do contorno. Para o lado direito é o inverso. Queremos então encontrar o ponto de raiz que maximiza a diferença entre I_{inner} e I_{outer} . Sendo o i -ésimo ponto do lado esquerdo ou direito (x_i, y_i) , o ponto (x_{i+1}, y_{i+1}) é calculado iterativamente da forma:

$$\begin{aligned} x_{i+1} &= \underset{x_i-r \leq x \leq x_i+r}{max} (I_{inner} - I_{outer}), \\ y_{i+1} &= y_i + h \end{aligned} \quad (5)$$

Onde r é o raio do espaço de busca e h é o incremento vertical. Os valores de r e de h usados no trabalho foram 3 e 1 respectivamente.

3. Resultados e Discussões

Houve uma grande variação nos resultados encontrados. Em certos casos a segmentação era satisfatória e em outros falha. Devido à padronização dos parâmetros e heterogeneidade das imagens houve esta discrepância nos resultados. Nos casos de falha, o maior

problema está na detecção da raiz do dente, devido à grande semelhança do dente com a gengiva em certas imagens. O fato de as imagens não terem sido tiradas nas mesmas condições ou para propósitos diferentes também justifica algumas das falhas. Outro fator que pode explicar as falhas é que a técnica utiliza diversos parâmetros, padronizados de forma a tentar obter o melhor deles para o maior número de exemplos. A Figura 3a é

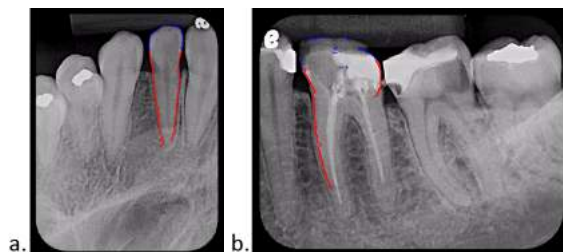


Figura 3. Exemplos de resultado (a. satisfatório; b. falho)

um exemplo de resultado satisfatório, visto que o método conseguiu delimitar a coroa e a raiz, mesmo que de maneira não tão uniforme. Já a Figura 3b não apresenta a coroa bem delimitada e a delimitação à direita da raiz não a contornou completamente.

4. Conclusão

Este trabalho detalha a técnica de segmentação denominada Método do Gradiente e propõe alterações para aprimorá-la. O método ainda não é válido para qualquer tipo de imagem, mas, ainda assim, os resultados obtidos são promissores, apresentando boa delimitação do contorno do dente em grande parte dos casos. Futuramente planejamos automatizar ou semi-automatizar a técnica e aplicar outras técnicas de segmentação como a técnica da probabilidade proposta por Jain e Chen (2003) para juntamente com a técnica abordada neste trabalho cumprir o objetivo de detectar cáries.

Referências

- Canny, J. (1986). A computational approach to edge detection. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, PAMI-8(6):679–698.
- Coelho, L. and Silva, A. (2005). Análise Digital de Radiografias Dentárias. *Revista do DETUA*, n. 4, 4:433 – 440.
- Gonzalez, R. C. and Woods, R. E. (2006). *Digital Image Processing (3rd Edition)*. Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River, NJ, USA.
- Jain, A. K. and Chen, H. (2003). Matching of dental X-ray images for human identification. In *Pattern Recognition Society Vol. 37*, pages 1519—1532. Elsevier.
- Jain, A. K., Chen, H., and Minut, S. (2003). *Dental Biometrics: Human Identification Using Dental Radiographs*, pages 429–437. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.
- Ministério da Saúde (2010). Pesquisa Nacional de Saúde Bucal (SBBrazil).
- Silva, R. A. d., Ortiz, T. M. L., Cruz, M. C. F. N. d., and Gonçalves, L. M. (2013). Diagnóstico Clínico e Radiográfico na Detecção de Cáries Proximais em Molares Decíduos e Permanentes. *Odontologia Clínico-Científica (Online)*, 12:223 – 226.

Estimating capacity and resource allocation in healthcare settings using business process modelling and simulation¹

G. A. Redeker^{1,3}, T. Webber¹, R. M. Czekster¹, S. Quickert², J. K. F. Bowles²

¹ University of Santa Cruz do Sul (UNISC), Santa Cruz do Sul, RS – Brazil

² School of Computer Science, University of St Andrews, St Andrews – UK

³ Hospital Bruno Born (HBB), Lajeado, RS – Brazil

guilherme@hbb.com.br, {thaiscs, ricardoc}@unisc.br, {sq21, jkfb}@st-andrews.ac.uk

Resumo. *Serviços de saúde envolvem tomada de decisões complexas desde o planejamento até o gerenciamento de recursos. Os hospitais alocam recursos conforme a experiência dos gestores, entretanto, devido a complexidade dos processos envolvidos, as decisões contêm muitas incertezas, variabilidades e restrições. Sistemas de informações devem ser robustos para prover suporte a gerência e serem capazes de controlar e suportar processos de trabalho. O presente trabalho explora a sinergia necessária combinando gestão de processos e simulação. O objetivo é estimar índices de desempenho considerando o gerenciamento da capacidade de um centro cirúrgico como estudo de caso.*

Abstract. *Healthcare involves complex decision making from planning to resource management. Resources in hospitals are usually allocated by experienced managers, however, due to an inherent process complexity, decisions are surrounded by uncertainties, variabilities, and constraints. Information Systems must be robust enough to provide support to stakeholders, capable of controlling and support work flows. The present work explores the required synergy when combining business processes with discrete event simulation. The objective is to estimate performance indices and address capacity management of a surgical center as a case study.*

1. Introduction

Healthcare management is currently facing substantial pressure for maintaining highly efficient and optimised processes throughout hospitals and healthcare providers. Understanding and coping with such complex activities must be dealt with through user-friendly information systems that are transparent to end operators in large healthcare settings. In a typical hospital care pathway, several patients with distinct conditions and illnesses must undergo various consultations with medical doctors (among other tasks), which in turn must abide to protocols and processes. It is challenging to map processes into realistic models using modelling notations combined with reliable operational data.

One standard formalism to enlarge the knowledge and documentation regarding processes is *Business Process Modelling Notation* (BPMN). The notation was developed to be applicable to a variety of domains, offering very simple but a wide range of visual notation to capture process activities (Dumas et al. 2013; Geiger, Wirtz, and Weberei 2013). Another extensively used technique to promote reasonable use of resources from models for performance assessment is *Discrete Event Simulation* (DES). Analysts can build sets of ‘*what if*’ scenarios that compute alternative outcomes for studying better process configurations. This is advantageous, since managers (and other roles) could *play* with processes, tasks, resources and service times, calculating performance indices and *Key Performance Indicators* (KPIs) (Bisogno et al. 2016, Khalifa and Khalid 2015, Rossetti 2009).

The main contribution of our paper is to discuss how to combine high level models written in

¹ Supported by the RAE under the Newton Research Collaboration Programme (NRCP1617/5/62).

BPMN with DES, in such a manner that managers could profit from estimated performance scenarios as decision support data. Our approach can help predict sets of behaviours through the analysis of multiple scenarios looking at historical data collected from the ERP (*Enterprise Resource Planning*) system mixed with indirect observation of processes and semi-structured interviews.

We chose a surgical centre of a medium sized hospital located at the southern region of Brazil as our case study. We aim to show the steps involved in (i) acquiring knowledge about the process itself using BPMN, and (ii) translate the high-level BPMN model to an executable simulation model, parameterized with actual ERP system data plus observations. We also discuss the potential benefits of devising a straightforward decision support tool based on BPMN and DES focusing on user-friendly interfaces and real-time responses to configuration scenarios.

2. Surgery case study: blending healthcare business process model with DES

Surgery practices are key operations associated with high costs and risks. It is very important to thoroughly study such processes, since they relate to patients' lives and draw attention from management due to its financial concerns. Surgery incorporates different medical-related staff (e.g. doctors, nurses, cleaning staff), and procedures (for instance, appendectomy, pericardiectomy). Such processes are very rich for analysis, with direct impact on business outcomes, use of resources analysis, and patient satisfaction. For example, the required time to perform a surgery depends on the patient profile (age group, health preconditions), the type of procedure, and necessary equipment and supplies. It is very difficult to incorporate all these aspects into a simulation model whilst keeping the model realistic. However, it is still possible to focus only on the surgery process, analysing key scenarios. For example, for surgery, it is common to inspect KPIs such as Bedroom (i.e. Operating Theatre) Occupancy Percentage, Average Time, Average Delay Time, Time Wasted Preparing Room, etc.

The BPMN mapping comprises the study of each activity with its actors (e.g. roles) as well as locations (surgery room) and allocated resources. Figure 1 depicts the BPMN model from Camunda Software Suite². According to Figure 1, the process begins with the patient's arrival to the surgical centre, where she is prepared for surgery by nurses (e.g. installing devices for monitoring and administer pre-surgical medications). The patient then wait for an operating theatre to be ready. Depending on the procedure, other professionals may be required such as anesthetists and operating department practitioners. When both the operating theatre and the team are ready, the patient is operated. After surgery, a patient is discharged if the health is consistent and if no problem has occurred during or post surgery. At the same time as patients are recovering, cleaning professionals prepare the operating theatre for the next patient. The cleaning professionals are very important because they prepare the operating theatre for the next patient, and the best case scenario is when they readily start working right after the surgery has taken place. This, however, is very difficult to attain, because they work across different hospital sectors and perform other duties. It is also rather obvious that medical doctors and their teams play a key role in performance, since if a single one is missing for a procedure, the patient's operation would have to be postponed. It is very important to keep the rooms busy at all times and maintain the delays to low levels, because it impacts directly on patient satisfaction and welfare, as well as process efficiency.

² Camunda is an open and free software available for download at <https://camunda.com/>

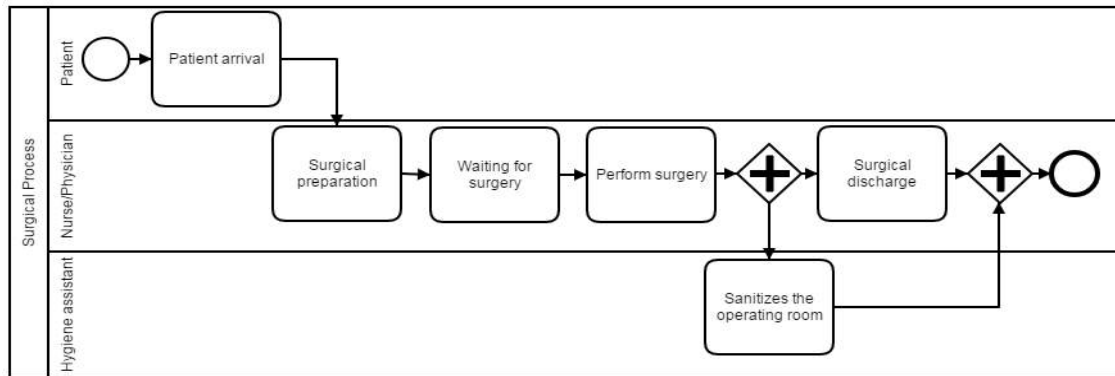


Figure 1. BPMN model for surgery in a hospital.

The BPMN model is manually translated to a compatible discrete-event simulation model. For illustration purposes, we have used Arena Software Suite³ to provide a simulation based on BPMN model and annotations. Figure 2 below presents our model of Surgical Rooms with actual inter-arrival times for patients extracted from ERP system. Activities in the BPMN model correspond to processes in the simulation, and start/end events are converted to specific modules responsible for the creation and disposal of entities during execution. The simulation model is thus consistent keeping the same flow of activities found in the BPMN model. It is important to have a validated dataset to obtain the required parameters for the simulation. The following data was specifically retrieved and processed (after removing invalid entries, missing data and null fields, and so on) and consists of a two year long longitudinal study, list of assigned resources, and procedure identifier. Datetime format is processed to be accepted by the probability distribution fitting tool inside Arena Software called Input Analyzer (this tool is shipped with the Arena main software bundle).

The simulation model has produced an initial model, called AS-IS model, which maps the actual operation, i.e., a snapshot of the current status of the situation under study. We have compared it against the data to see whether the performance indices were a close match. The AS-IS scenario showed that we have achieved similar results in terms of throughput and waiting times for the modelled queues, validating our base model. Examples of parameters such as average time between arrivals for activities are: Surgical preparation takes an interval of 4.81 to 6.93 minutes; Sanitization of the operating room is set at a fixed on 15 minutes (simulators do allow some stochastic fluctuation, e.g. using probability distributions); Waiting time for surgery around 14 to 33 minutes; and surgeries around 38.83 to 102.66 minutes (depending on complexity could last more minutes or hours to be accomplished). Analyzing rooms' occupancy, the simulation provided total times from 95.38 to 449.83 minutes depending on the room. The worst waiting time for surgery was computed as 180.83 minutes for a given patient considering around 12.13 minutes for a specific room setup. For this simulation we used a dataset containing around 9500 surgeries, without differentiating their scheduled time during the day. The resources considered hygienic assistants (assigned to room setup activity), a physician, an anesthesiologist and a surgical technician. All resources were involved in the surgical procedure. In the room setup, the hygienic assistant was busy on average 60.7% of the time considering 6 rooms. For surgery we have looked the use of the rooms and we computed those measures to be between 4.3% and 82.5% of the time. Such variation is a good indication of where to focus efforts to keep reasonable levels of operating rooms as patients' demands are varying.

³ Arena Software Suite is proprietary software, needing a license to work. Website: <https://www.arenasimulation.com/>

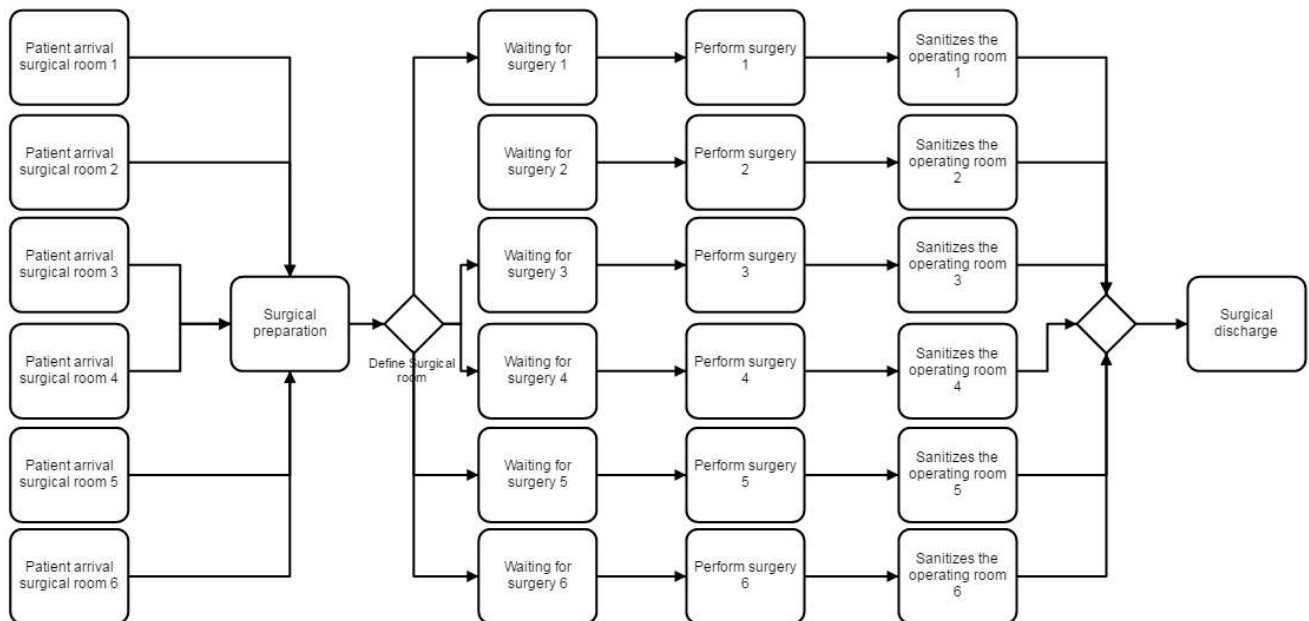


Figure 2. Arena-based model schema: BPMN mapping to DES model

3 Final considerations

The area of quantitative assessment of systems is a crucial technique to help stakeholders make quick and reasonable decisions given available information. With BPMN and DES integrated in a decision support tool, managers can choose better throughputs or lesser waiting times. They could rearrange resources as well as professionals involved at different stages of a process to ensure high levels of productivity. With simulation, this view is broadened and it is possible not only to map and address such deficiencies but to reassess entire operations to meet performance expectations. This work in progress has already used modelling and simulation to map surgery procedures to a high level model in BPMN. We devise a compatible simulation model to aid the exploration of configurations yielding performance results in terms of resource utilisation and waiting times. Managers should increase their awareness towards simulation practices as a valid alternative for system analysis. As future work, we will develop an automatic model generation and scripting tool to analyse scenarios outputs, presenting stakeholders with more information to make better decisions.

References

- Bisogno S. *et al.* (2016). Combining modelling and simulation approaches: How to measure performance of business processes. *Business Process Management Journal*, vol. 22(1), pp 56-74.
- Dumas, M. *et al.* (2013). *Fundamentals of business process management (Vol. 1 & 2)*. Springer.
- Geiger M., Wirtz G. and der Weberei A. (2013). BPMN 2.0 Serialization-Standard Compliance Issues and Evaluation of Modeling Tools. In: *EMISA 2013*, pp 177-190.
- Khalifa, M. and Khalid, P. (2015). Developing Strategic Health Care Key Performance Indicators: A Case Study on a Tertiary Care Hospital. *Procedia Computer Science*, vol. 63, pp 459-466.
- Rossetti, M. D. *Simulation Modeling and Arena*. (2009). *Wiley Press*, 2nd Edition.

BodyRating: Uma proposta para anotação de silhueta corporal para avaliação de autopercepção

Anderson S. Fonseca¹, Victor H. B. de Lemos^{1, 2}, Artur A. Silva²
Geraldo Braz Júnior¹, Anselmo C. Paiva², Antônio A. M. da Silva³

¹Programa de Educação Tutorial em Ciência da Computação (PETComp)

²Núcleo de Computação Aplicada (NCA)

³Coortes RPS - São Luís – Hospital Universitário (HU-UFMA)
Universidade Federal do Maranhão (UFMA)

andsf@live.com, victorhbl12, astobiro@gmail.com@gmail.com, geraldo.braz,
anselmo.paiva, antonio.araujo@ufma.br

Abstract. *Nowdays, the appearance is of great importance in the lives of many and the way people evaluate their own image can lead to several self-perceived disorders. Evaluate the level of these disorders led to the proposal of the Body-Rating tool that notes the classification of 3D models of voluntary patients made by specialists in the field taking into account the Scale of Silhouettes. The tool was presented and it was widely accepted. After the annotation of the 3D models, the collected data will be used as base to the development of an automatic classification tool that is a future proposal of help to specialists.*

Resumo. *Atualmente, a aparência é de grande importância na vida de muitos e a forma que pessoas avaliam a própria imagem pode levar a diversos transtornos de autopercepção. Avaliar o nível desses transtornos levou a proposta da ferramenta BodyRating que anota a classificação de modelos 3D de pacientes voluntários feita por especialistas da área levando em consideração a Escala de Silhuetas. A ferramenta foi apresentada e percebeu-se uma grande aceitação da mesma. Após a anotação dos modelos 3D, os dados coletados serão utilizados como base para o desenvolvimento de uma ferramenta de classificação automática que é uma futura proposta de auxílio a especialistas.*

1. Introdução

Diante desta época de informação, onde as pessoas em pouco tempo poderiam compartilhar o que pensam e o que fazem, as redes sociais se tornaram o palco para um grande acúmulo de opiniões. Assim, as pessoas começaram a se importar mais com a sua aparência, do que agrada ou não um público comum, modificando seu pensamento de como ela se mostra ao mundo. O fato do uso de redes sociais podem trazer uma série de transtornos sociais, como *cybercrime*, *bullying*, etc e vários transtornos pessoais, como anorexia, repressão social, depressão, etc.

A imagem corporal é a construção multidimensional que descreve amplamente as representações internas da estrutura corporal e da aparência física em relação a nós mesmos e aos outros [Damasceno et al. 2006] é um conceito de como um pessoa se percebe. Os problemas citados anteriormente podem afetar diretamente a autopercepção de um

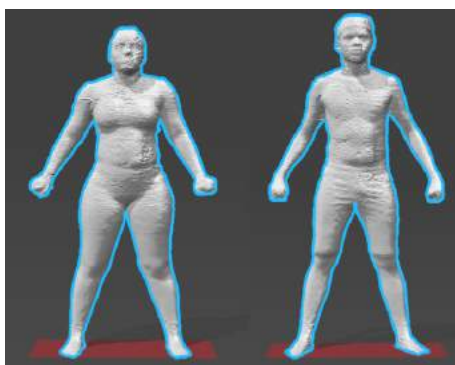


Figura 1. Exemplos de modelos 3D de voluntários do projeto Coortes RPS.

indivíduo. Dessa forma, é de grande importância uma forma de mensurar divergências entre a real imagem de uma pessoa e a sua auto imagem para melhor entendimento desses transtornos.

Com o intuito de verificar as modificações que a esta era de informação realiza na saúde das pessoas, foi criada o projeto Coortes RPS, consórcio de coortes brasileiras de nascimento de Ribeirão Preto, Pelotas e São Luís, com o intuito de pesquisar a saúde de jovens nascidos em 1997 e acompanhar a saúde dos mesmos até a chegada da vida adulta. Assim poderia se medir ou ter uma ideia de o quanto este impacto difere na formação de saúde do indivíduo.

Dentre os procedimentos feitos no Coortes RPS, a geração de modelos 3D dos pacientes (Figura 1) possibilita uma forma diferenciada de estudos de transtornos de autopercepção. Ao longo dos anos do projeto foram coletados mais de 4000 modelos e, levando em consideração as dimensões da base de dados, sentiu-se a necessidade de uma forma prática de classificar esses modelos quanto a real forma do corpo do paciente em questão. Assim, foi proposto a ferramenta BodyRating, uma aplicação web criada a fim de fazer anotação da classificação de cada paciente e gerar uma base de dados robusta para futuros estudos.

2. Metodologia

Partindo da ideia que o objetivo era desenvolver uma ferramenta simples e prática para anotação dos dados de cada indivíduo, era necessário uma métrica de classificação que proporcionasse tais condições. Dessa forma, foi escolhida a Escala de Silhuetas (Figura 2) [Stunkard et al. 2006] por já ser amplamente difundida no meio acadêmico e oferecer um grande número de classes em versões para ambos os gêneros.

A escala de silhuetas já foi utilizada em cegos congênitos para avaliar satisfação corporal onde foi criado uma versão bidimensional da mesma [da Rocha Morgado et al. 2009b].

A Figura 3 apresenta um esquema de funcionamento da metodologia proposta. Ela tem início com a autoavaliação de cada indivíduos seguido da captura de seus respectivos modelos 3D. Após dessas etapas preliminares, inicia-se a pré-classificação, uma sub-etapa da classificação, onde especialistas classificam a base de dados seguindo a escala de silhuetas. Em seguida ocorre a classificação computadorizada que usa os dados

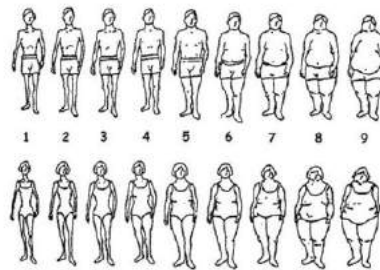


Figura 2. Escala de Silhuetas em suas versões masculina e feminina.

fornecidos pelos especialistas para automatizar o processo. E por último, há a análise dos resultados obtidos.

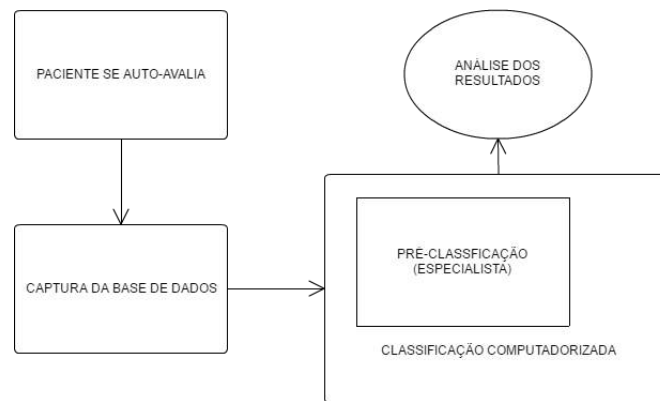


Figura 3. Fluxograma das etapas da metodologia aplicada

Usando a ferramenta BodyRating, no processo de classificação, são coletados a classe, gênero e um possível comentário que o especialista possa ter sobre o modelo. A aplicação da ferramenta acontece em duas etapas iniciais. Na primeira fase de testes, é realizada uma avaliação por 5 especialistas, sendo eles estudantes de medicina e fisiologistas, que avaliarão amostras de cerca de 300 modelos de paciente, com a finalidade de mostrar o quanto a perspectiva de especialistas se diferem a partir de um determinado modelo. Na segunda fase, os modelos avaliados serão comparados com as opiniões de seus respectivos pacientes, verificando o quanto a opinião dada por especialistas pode diferir da opinião própria do paciente.

3. Resultados

Foi apresentada a uma bancada de especialistas do projeto Coorte RTS a importância da avaliação de silhuetas e os possíveis transtornos que podem ser mostrados durante a avaliação dada por um médico especializado e um paciente. Foi então mostrada a aplicação BodyRating que tem o intuito de recuperar os dados das avaliações feitas por especialistas e processar esses dados para uma detecção de opiniões que divergem entre os mesmos, mostrando de maneira gráfica as opiniões que um médico tem sobre a silhueta do indivíduo e do paciente sobre sua silhueta, ambos baseadas na Escala de Silhuetas.

Com a aprovação da bancada, cinco voluntários foram selecionados para avaliar um quantidade específica de modelos, os resultados da avaliação são registrados e guarda-

dos para realização de uma análise mais específica, onde já é possível identificar os detalhes sobre os modelos disponibilizados pelo BodyScan e diferenciá-los de cada avaliação registrada.

4. Conclusão e Direções Futuras

Em suma, a problemática dos transtornos de autopercepção se mostrou de grande importância bem como o melhor entendimento da mesma. Além disso, ficou evidente a aceitação da ferramenta entre os especialistas consultados assim como a sua utilidade. Pode-se perceber também que não houve qualquer tipo de resistência à ideia de desenvolvimento de um classificador automático.

Como trabalhos futuros os modelos que irão ser avaliados, passarão por um outro processo mais específico, usando as técnicas de reconhecimento padrões e análise de imagem, a aplicação BodyRating irá aprender sobre as avaliações de cada especialista, sendo assim a aplicação em questão poderá automaticamente sugerir a partir do modelo 3D gerado qual a classificação na Escala de Silhuetas o paciente se enquadra, a sugestão não irá substituir a opinião do especialista, mas espera-se que a informação gerada pelo BodyRating sirva futuramente como uma segunda opinião para futuras avaliações.

Referências

- Antunes, A. V., Pozzobon, A., and Pereira, A. L. B. (2011). Avaliação antropométrica, autopercepção corporal e perfil nutricional de mulheres adultas. *Revista Destaques Acadêmicos*, 3(3).
- da Rocha Morgado, F. F., Ferreira, M. E. C., Andrade, M. R. M., and Segheto, K. J. (2009a). Análise dos instrumentos de avaliação da imagem corporal. *Fitness & performance journal*, (3):204–211.
- da Rocha Morgado, F. F., Ferreira, M. E. C., de Lima Alexandrino, D. F., and Amaral, A. C. S. (2009b). Escala de silhuetas bidimensionais para avaliação da satisfação corporal do cego.
- Damasceno, V. O., Vianna, V. R., Vianna, J. M., Lacio, M., Lima, J. R. P., and Novaes, J. S. (2006). Imagem corporal e corpo ideal. *Rev Bras Ciên e Mov*, 14(1):87–96.
- de Assis, C. L., Borine, B., Lacerda, S. R., and da Costa, A. (2013). Autoavaliação de peso corporal e classificação do índice de massa corporal de estudantes do ensino superior de cacaoal-ro-doi: [http://dx. doi. org/10.15603/2176-1019/mud. v21n2p30-39](http://dx.doi.org/10.15603/2176-1019/mud.v21n2p30-39). *Mudanças-Psicologia da Saúde*, 21(2):30–39.
- Stunkard, A., Sorensen, T., and Schlusinger, F. (2006). Use of danish adoption register for the study of obesity and thinness. 1983. *Scagliusi FB et al.*
- Zenith, A. R., Marques, C. R. C., Dias, J. C., and Rodrigues, R. C. L. C. (2012). Avaliação da percepção e satisfação da imagem corporal em usuários do programa academia da cidade em belo horizonte minas gerais. *e-Scientia*, 5(1):09–17.

Planejamento Cirúrgico de Estrabismo Horizontal Utilizando Regressores de Múltiplas Saídas

Thalles Alencar Silva, João Dallyson Sousa de Almeida,
Jorge Antonio Meireles Teixeira, Geraldo Braz Junior

¹ Núcleo de Computação Aplicada (NCA) – Universidade Federal do Maranhão (UFMA) Caixa Postal 65.085–580 - São Luís – MA - Brasil

thalles.al.slv@gmail.com, joao.dallyson@ufma.br

Abstract. *Strabismus is an ophthalmologic pathology that affects about 4% of the population, that may cause irreversible sensorial damage to vision. The treatment of more severe cases requires surgical intervention. The planning in such operations is complex and requires, besides vast knowledge on the subject, expertise from the specialist doctor. And so, the presented paper makes use of multi-output regressors and Support Vector Regression machines (SVR) to indicate the strabismus surgical planning. In our most precise method, of the three evaluated, it was obtained MAE of 0.798 millimeters and RMSE of 1.259 millimeters in the indication of the horizontal strabismus surgical planning.*

Resumo. *O estrabismo é uma patologia oftalmológica que afeta cerca de 4% da população, que pode causar danos sensoriais irreversíveis à visão. O tratamento dos casos mais graves requerem intervenção cirúrgica. O planejamento de tais operações é complexo e exige, além de vasto conhecimento na área, experiência por parte do médico especialista. Desta forma, este trabalho utiliza regressores com múltiplas saídas e Máquinas de Vetores de Suporte para Regressão (SVR) para indicar o planejamento de cirurgias de estrabismo. Em nosso método mais preciso, dos três avaliados, foi obtido EAM de 0.798 milímetros e REQM de 1.259 milímetros na indicação do plano cirúrgico de estrabismos horizontais.*

1. Introdução

Estrabismo é um problema oftalmológico que afeta negativamente a qualidade de vida através de disfunção visual e aparência anormal [Ziaei et al. 2016]. Identificado pela perda do paralelismo entre os olhos este pode ser vertical (hipotropia e hipertropia) e/ou horizontal (esotropia e exotropia).

A cirurgia de estrabismo é definida como procedimentos cirúrgicos incisivos executados nos músculos extraoculares para tratamento de estrabismo [Mills et al. 2004]. Na seção 2 faremos uma explanação mais detalhada com relação ao planejamento cirúrgico, descrevendo características que qualificam pacientes passíveis da operação bem como esclarecendo alguns conceitos úteis à nossa metodologia.

O procedimento cirúrgico é indicado para a maioria dos casos com desvios acima

de 15Δ , devido à presença de sinais e sintomas como diplopia¹, astenopia², torcicolo ocular, nistagmo³, redução de campo visual, comprometimento estético estigmatizante e alterações sensoriais [NOEL et al. 1997].

Os fatores envolvidos na operação de correção de desvios são diversos e, aqui, estaremos utilizando os parâmetros de avaliação para o planejamento definidos por [Almeida et al. 2015] para correção de desvios horizontais. Em seu trabalho foram utilizadas Máquinas de Vetores de Suporte para Regressão (SVR) treinando-se um modelo para cada variável-alvo – aqui este método será apresentado como "método *single-target*".

Neste artigo estarão sendo apresentadas novas abordagens com regressores de múltiplas saídas, descritos na Seção 3.1, objetivando o planejamento cirúrgico de correção de desvios horizontais, onde apenas dois músculos extraoculares (Reto Medial e Reto Lateral) em cada olho são responsáveis pela patologia.

A seção 3.2 apresenta o regressor utilizado na criação dos modelos baseados nos métodos descritos. A Seção 4 apresenta a base de dados utilizada neste trabalho, bem como a metodologia utilizada no treinamento dos modelos e os parâmetros que obtiveram os melhores resultados na execução da validação cruzada.

2. Planejamento Cirúrgico de Estrabismo

Os fatores envolvidos no planejamento da estratégia cirúrgica em casos de estrabismo são muito complexos, envolvendo tanto a participação do conhecimento científico teórico como a experiência do cirurgião [Noorden and Campos 2001, Diaz and Dias 2000]. Existem diversas fórmulas e tabelas, baseadas em vários casos que fornecem valores para o planejamento cirúrgico de acordo com o grau do desvio observado [Noorden and Campos 2001, Diaz and Dias 2000]. Estas tabelas apresentam como desvantagem o fato de fornecerem valores médios, que muitas vezes não podem ser aplicados individualmente [Diaz and Dias 2000], já sendo bem estabelecida a grande variabilidade da correção cirúrgica obtida em termos de dioptrias prismáticas por milímetro de recuo e/ou ressecção [Diaz and Dias 2000]

A cirurgia envolve o enfraquecimento da força muscular, aumento da tensão muscular e realinhamento da ação do músculo. Existem basicamente dois tipos de procedimentos cirúrgicos: cirurgias de enfraquecimento dos músculos por meio da diminuição do torque muscular, que pode ser entendido como a capacidade de se converter a contração muscular em movimento rotacional; e cirurgia de aumento da tensão muscular por meio da ressecção do músculo.

No primeiro tipo, podem ser feitos recuos da posição original do músculo, sutura em redea, expansores musculares (faixa de silicone ou autotransplante do tendão). Já no segundo, realizam-se ressecções do comprimento do músculo, reposicionamento anterior da inserção e pregueamento do tendão muscular.

¹Visão dupla: ocorre quando a imagem de um objeto é formada sobre pontos não correspondentes na retina.

²Olhos cansados, que ocorrem geralmente quando se realiza um trabalho com olhar fixo a uma distância fixa. Sensação ocular desconfortável.

³Nistagmo são oscilações repetidas e involuntárias rítmicas de um ou ambos os olhos em algumas ou todas as posições de mirada.

Via de regra, no momento da decisão pela operação ou não de um certo músculo do olho, consideram-se os seguintes pontos:

- a) Todo músculo muito fraco ou muito tenso deve ser incluído no planejamento cirúrgico, fazendo-se ressecção (fortalecimento) ou recuo (enfraquecimento);
- b) Quando há visão boa nos dois olhos, deve-se dividir a cirurgia entre eles;
- c) Se não há visão boa, concentra-se a cirurgia em um só olho, na medida do possível. O mesmo vale para XT / X(T) e quando o paciente tem retardo do desenvolvimento neuropsicomotor (RDNPM).

Para planejar a cirurgia, o especialista normalmente examina o paciente para obter as seguintes informações:

- **Idade;**
- **Tipo de desvio:** Esotropia (ET), Exotropia (XT), Hipertropia (HT) ou Hipotropia (HoT);
- **Acuidade visual (AV).** Este tipo de exame é importante, pois a cirurgia pode ser dividida entre os dois olhos, caso o paciente apresente boa visão;
- **Exame de refração.** Do exame de refração são obtidas informações sobre o equivalente esférico do grau do paciente;
- **Fixação binocular (FB).** Do exame de fixação binocular o especialista obtém a informação de qual olho é o fixador.
- **Exame de fundoscopia (FOI).** Este exame permite a visualização da retina e de seus componentes: vasos, disco óptico e mácula.
- Medida do desvio nas posições primária e secundária do olhar;
- Medida das versões. A medida das versões avalia os movimentos binoculares conjugados dos músculos oculares: reto medial (RM), reto lateral (RL), reto inferior (RI), reto superior (RS), oblíquo inferior (OI) e oblíquo superior (OS).

3. Regressão

A análise de regressão tem o objetivo de verificar a existência de uma relação funcional entre uma variável com uma ou mais variáveis, obtendo-se uma equação que explique a variação da variável dependente Y , pela variação dos níveis das variáveis independentes X_1, X_2, \dots, X_p [Queiroz 2010]. Em outras palavras, consiste na obtenção de uma função capaz de representar o relacionamento entre um conjunto de dados x com l instâncias e um conjunto de valores-alvo (discretos) y com d instâncias, com $l, d \geq 1$.

Quando $d > 1$, ou seja quando temos uma função de relação com mais de uma variável-alvo a ser obtida a partir dos dados em x , temos regressão *multi-output* (ou regressão com múltiplas saídas), podendo também ser conhecida por *multi-target*, *multi-variate* e *multi-response*.

3.1. Regressão com Múltiplas Saídas

Considere um grupo de dados de treinamento D com N instâncias contendo um valor determinado para cada variável $X_1, \dots, X_m, Y_1, \dots, Y_d$, i.e., $D = \{(x^1, y^1), \dots, (x^N, y^N)\}$. Cada instância é caracterizada por um vetor de entrada com m variáveis descritivas, ou preditivas, $x^l = (x_1^l, \dots, x_j^l, \dots, x_m^l)$ e um vetor de saída com d variáveis-alvo $y^l = (y_1^l, \dots, y_i^l, \dots, y_d^l)$, com $i \in \{1, \dots, d\}$, $j \in \{1, \dots, m\}$, e

$l \in \{1, \dots, N\}$. O objetivo é obter, a partir dos dados de treinamento D , uma função h que seja capaz de gerar, para cada vetor x de características, um vetor y com d variáveis-alvo [Borchani et al. 2015].

Ou seja, a partir dessa base de treinamento D obtém-se uma função que correlaciona os dados de entrada x em um conjunto de saídas y . Neste trabalho serão discutidos três dentre os diversos métodos existentes atualmente para regressão com múltiplos valores-alvo. Estes estão divididos dois grupos: Métodos de Transformada de Problema e Métodos de Transformada de Algoritmo.

O primeiro grupo baseia-se na ideia de transformar o problema de múltiplas saídas, isto é com d variáveis alvo, em múltiplos (d) problemas de único valor-alvo, gerando para cada um destes um modelo, e, por fim, concatenando todos os valores-alvo como o conjunto de saídas y descrito anteriormente.

O segundo baseia-se na criação de modelos únicos capazes de produzir os d valores-alvo a partir dos dados em x . Estes modelos são mais complexos, uma vez que calculam simultaneamente todos os valores, levando em consideração, também, os relacionamentos entre eles.

O primeiro, e mais simples, destes métodos é o método *Single-Target* (ST). Consiste em uma abordagem de transformada de problema definida pela geração de d modelos de regressores com única saída – uma para cada valor-alvo – a partir da uma versão levemente alterada da base de treinamento. Cada h_i é dada pelo treinamento de um regressor a partir da base $D_i = \{(x^1, y_i^1), \dots, (x^N, y_i^N)\}$, $i \in \{1, \dots, d\}$, e cada um destes resulta em um único valor y_i , como descrito por [Spyromitros-Xioufis et al. 2012].

Já a abordagem Multi-Target Regressor Stacking (MTRS) é um processo em duas etapas baseado no conceito de *stacked generalization* (generalização empilhada) definida por [Spyromitros-Xioufis et al. 2012]. Inicialmente os modelos de primeiro estágio são treinados, da mesma forma que os valores obtidos no método ST, de onde obtém-se um primeiro conjunto de valores y' . Na segunda etapa, d novos metamodelos serão gerados para que se obtenha os valores finais $Y_i, i \in \{1, \dots, d\}$

Cada um destes metamodelos gerados nesta segunda etapa do MTRS é treinado sobre um conjunto de características transformado dado por $D_i = \{(x^1, y_i^1), \dots, (x^N, y_i^N)\}$ onde $x^l = \{(x_1^l, \dots, x_N^l, y_1^l, \dots, y_N^l)\}$, ou seja com x composto dos valores anteriores acrescidos das previsões de primeira instância do primeiro modelo.

Já a terceira abordagem, baseada no método de *Classifier Chains* introduzido por [Read et al. 2011], dá-se pelo encadeamento de modelos ST através de uma permutação das variáveis-alvo de forma a construir um para cada valor desejado.

Assumindo que a cadeia padrão $C = \{Y_1, Y_2, \dots, Y_N\}$ (onde C é dado por um grupo ordenado) é selecionado, o primeiro modelo diz respeito a previsão de Y_1 tem a forma $h_1 : X \rightarrow R$ e é o mesmo modelo *Single-Target* para esta variável. A diferença em *Regressor Chains* é que os modelos subsequentes $h_j, j > 1$ são treinados sobre conjuntos de dados transformados $D_j = \{(x_j^1, y_j^1), \dots, (x_j^N, y_j^N)\}$ onde $x_j^i = (x_1^i, \dots, x_N^i, y_1^i, \dots, y_{j-1}^i)$ são vetores de entrada transformados consistentes do vetor original de entrada dos exemplos de treinamento acrescidos dos valores reais de todos os valores-alvo anteriores da cadeia [Spyromitros-Xioufis et al. 2012].

Entretanto os valores reais que devem ser utilizados nas cadeias não estão disponíveis no momento da predição e portanto o método passa a se basear nos valores estimados pelas funções h_1, \dots, h_{j-1} por meio de validação cruzada, em uma técnica introduzida como *Regressor Chains Corrected* (RCC) por [Spyromitros-Xioufis et al. 2012], sendo este nosso terceiro método.

3.2. Support Vector Regression

Máquinas de Vetores de Suporte (SVMs, do inglês *Support Vector Machines*), como introduzida por [Vapnik 1998], é um método de aprendizagem supervisionada utilizada para estimar uma função capaz de classificar dados de entrada entre duas classes a partir de um espaço de características de alto valor dimensional, e vêm recebendo crescente atenção da comunidade de Aprendizado de Máquina nos últimos anos, apresentando grande capacidade de generalização e robustez diante de volumes extensos de dados.

As SVMs foram originalmente desenvolvidas para resolver problemas de classificação, isto é, definir através de uma função se um objeto com características x pertencem a uma classe A ou a uma classe B ($-1, +1$), mas [Vapnik et al. 1997] ampliou o método de forma que este viesse a resolver, também, problemas de regressão.

O algoritmo de SVR é uma adaptação da SVC, aplicando-se uma função de perda e permitindo o seu uso para regressão. Esta função pode ser Quadrática, Laplace, Huber, ϵ -insensível e ϵ -quadrática, com as três primeiras não produzindo vetores dispersos o que fez com que [Vapnik et al. 1997] propusesse as funções ϵ -insensíveis.

O objetivo do SVR é encontrar uma função $f(x)$ que retorne o maior valor de desvio ϵ relacionado aos valores-alvo. Isto é, busca uma função capaz de produzir uma margem de erro $y_i - \epsilon, y_i + \epsilon$, utilizando de variáveis de perda, não-negativas, ξ_i, ξ_i^* de forma a penalizar os dados fora da margem $|f(x) - y_i| \leq \epsilon$. Esta abordagem pode ser descrita por: $|\xi|_\epsilon = 0$, se $|\xi| \leq \epsilon$, e $|\xi|_\epsilon = |\xi| - \epsilon$ se $|\xi| \geq \epsilon$.

A função de regressão é definida por:

$$f(x) = \sum_{i=1}^l (\alpha_i - \alpha_i^*) K(x, x_i) + b \quad (1)$$

onde $K(x, x_i) = \phi(x) \cdot \phi(x_i)$ e α_i, α_i^*, b são soluções da equação

$$\min_{w, b, \xi, \xi^*} \frac{1}{2} \|w\|^2 + C \sum_{i=1}^l (\xi_i + \xi_i^*) \quad (2)$$

e

$$y_i - (w \cdot x_i) - b \leq \epsilon + \xi_i(w \cdot x_i) + b - y_i \leq \epsilon + \xi_i^* \xi_i, \quad \xi_i^* \geq 0, \forall i \in 1, \dots, l \quad (3)$$

4. Materiais e Métodos

Esta seção apresenta a base de dados utilizada nos testes dos métodos propostos neste artigo, sua origem e como são utilizados. Descreve-se ainda os procedimentos aplicados na criação dos modelos *multi-output* destinados à indicação automática do plano cirúrgico de estrabismo.

4.1. Base de Dados

Os dados utilizados neste trabalho são oriundos do estudo realizado por [Almeida et al. 2015], tendo sido obtidos em colaboração com uma clínica médica especializada em oftalmologia em São Luís, no Maranhão, através da análise de prontuários de pacientes examinados por um oftalmologista especialista em estrabismo.

A base é formada por dados extraídos de prontuários de 114 pacientes divididos em grupo de treinamento, etapa inicial onde criamos os regressores que farão a estimação dos valores para o plano cirúrgico, e teste, onde é feita uma estimação dos valores utilizando os regressores gerados durante o treinamento.

Os dados (seção 2), fornecidos pelo especialista e pertinentes ao planejamento cirúrgico, consistem das medidas de desvio, dada em dioptrias prismáticas, nas posições primárias (PPO) e secundárias (INFRA, SUPRA, LEVO e DEXTRO), o tipo de desvio, o olho fixador, equivalentes esféricos, versões dos músculos oculares de ambos os olhos (RM, RL, RI, RS, OI e OS) e os resultados do exame de fundoscopia, totalizando 23 características.

Este também fornece dados referentes aos planejamentos cirúrgicos para cada um dos casos. Os dados referentes ao planejamento são dados de recuo e ressecção, dados em milímetros, para os músculos Reto Medial (RM) e Reto Lateral (RL), tanto do olho direito (D) quanto do olho esquerdo (E).

4.2. Método Proposto

As técnicas aqui utilizadas foram: *Single-Target*, *Multi-Target Regressor Stacking* e *Regressor Chains Corrected*. O treinamento dos modelos de regressores foram realizados sobre 75% das instâncias da base, escolhidas aleatoriamente, os testes foram realizados sobre as instâncias restantes.

Os dados passaram por um processo de normalização antes do treinamento dos modelos de forma que os valores fossem reduzidos ao intervalo $[-1, 1]$. O treinamento dos modelos foram realizados na linguagem R, utilizando o pacote `e1071`. Utiliza-se as SVR, descritas na seção 3.2, com o *kernel* de função básica radial (RBF, do inglês *radial basis function*) dado por $k(x, y) = e^{-\gamma \|x-y\|^2}$, como regressor na geração dos modelos.

Durante o treinamento foi necessário estimar os valores de C , γ e ϵ , uma vez que estes não são previamente conhecidos. Para tanto, utiliza-se a validação cruzada *v-fold*, onde inicialmente o conjunto de treinamento é dividido em v subconjuntos de tamanhos iguais e, em seguida, um subconjunto é testado usando o classificador treinado no restante do conjunto $v - 1$. Aqui utilizou-se $v = 10$, um valor comumente utilizado por proporcionar estimativas mais confiáveis [Witten and Frank 2005].

O treinamento do modelo *Single-Target* (ST) consiste em gerar um regressor para cada variável-alvo. Isto é, para cada Y_i com $i \in 1, \dots, d$ treina-se um SVR com os as características X_j , onde $j \in 1, \dots, l$. Este método é o mesmo utilizado por [Almeida et al. 2015] em seu trabalho. Os valores utilizados para os parâmetros C , γ e ϵ do SVR, para os oito valores-alvo, são como dados na tabela 1.

Já no modelo do *Multi-Target Regressor Stacking* (MTRS) o treinamento é realizado em duas etapas: a criação dos modelos iniciais (idêntica ao modelo ST), e, após concatenar os valores obtidos aos valores em X – fazendo com que cada X^k com $k \in 1, \dots, N$

Tabela 1. Valores C , γ e ϵ para o método *Single-Target*

	RcRM		RsRM		RcRL		RsRL	
	D	E	D	E	D	E	D	E
C	64	512	512	128	8	64	8	256
γ	0.02	0.07	0.09	0.01	0.05	0.01	0.06	0.09
ϵ	0	0.01	0.2	0.01	0.13	0.38	0	0.08

contenha também os valores de Y^k –, treinamos os regressores de segundo estágio que resultarão nos modelos finais. Assim temos agora, além das 23 características do primeiro modelo, mais 8, referentes às predições dos modelos iniciais, para compor os modelos finais.

Os modelos MTRS do primeiro estágio foram os mesmos ST obtidos anteriormente. Já para o segundo estágio os valores C , γ e ϵ foram novamente adquiridos, conforme mostra a tabela 2.

Tabela 2. Valores C , γ e ϵ para o método *Multi-Target Regressor Stacking*, utilizados nos modelos de segundo estágio.

	RcRM		RsRM		RcRL		RsRL	
	D	E	D	E	D	E	D	E
C	32	64	64	8	8	4	16	8
γ	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
ϵ	0	0	0.03	0.05	0.04	0.11	0	0

No método *Regressor Chains Corrected* (RCS) treina-se os regressores de forma encadeada obedecendo uma sequência escolhida aleatoriamente. Então para cada regressor h_i , com $i \geq 1$, referente a uma variável-alvo Y_i , treina-se este com os dados X^k , com $k \in 1, \dots, N$, acrescidos de Y_{i-1}^k .

No RCS utiliza-se a sequência, aleatoriamente escolhida, dada por $\{RsRLE, RcRME, RsRME, RsRMD, RsRLD, RcRMD, RcRLD, RcRLE\}$, com os valores C , γ e ϵ dados na tabela 3:

Tabela 3. Valores C , γ e ϵ para o método *Regressor Chains Corrected*.

	RcRM		RsRM		RcRL		RsRL	
	D	E	D	E	D	E	D	E
C	4	128	8	256	8	16	128	128
γ	0.01	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.03	0.13
ϵ	0.19	0.05	0.24	0.07	0	0	0.08	0.17

5. Resultados

Esta seção apresenta os resultados obtidos através dos métodos aplicados sobre a base de dados. Os modelos gerados a partir do treinamento com os dados da seção anterior serão aplicados sobre os 25% restantes da base, previamente isolados, e seus desempenhos serão avaliados em comparação com o plano elaborado pelo médico especialista.

Foram utilizadas duas medidas durante a avaliação deste estudo: o Erro Absoluto Médio (EAM) e a Raiz do Erro Quadrático Médio (REQM). A primeira, dada pela Equação 4, calcula a média absoluta da distância entre os valores previstos e os valores reais.

Já o REQM representa o desvio médio padrão do todo a partir da amostra utilizada, e é dado pela Equação 5.

$$EAM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |p_i - a_i| \quad (4) \quad REQM = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (p_i - a_i)^2} \quad (5)$$

Em ambas as equações n é o número de amostras levadas em consideração na avaliação (em nosso caso, 25% da base), p_i é a predição feita pelo regressor para a i -ésima amostra e a_i é o valor real da amostra estabelecido pelo médico especialista.

Com os modelos treinados, executamos os testes sobre as instâncias de teste obtendo-se, para cada uma, oito valores referentes ao tamanho da operação em milímetros que deve ser executada sobre músculos de ambos os olhos. Assim, calculamos os valores de EAM e REQM para os resultados obtidos em relação aos dados dos planos sugeridos pelo médico especialista. As tabelas 4, 5 e 6 mostram os erros médios para cada procedimento cirúrgico planejado e os erro médio global para todos os procedimentos.

Tabela 4. EAM e REQM (em milímetros) para o método ST.

	Rc RM		Rs RM		Rc RL		Rs RL		Média
	D	E	D	E	D	E	D	E	
EAM (mm)	0.691	0.755	0.935	0.992	0.940	1.116	0.899	0.840	0.896
REQM (mm)	1.024	1.181	1.202	1.291	1.529	1.478	1.417	1.599	1.34

Tabela 5. EAM e REQM (em milímetros) para o método MTRS.

	Rc RM		Rs RM		Rc RL		Rs RL		Média
	D	E	D	E	D	E	D	E	
EAM (mm)	0.661	0.660	0.746	0.887	0.866	0.930	0.876	0.755	0.798
REQM (mm)	1.034	1.078	1.035	1.163	1.445	1.287	1.463	1.570	1.259

Tabela 6. EAM e REQM (em milímetros) para o método RCC.

	Rc RM		Rs RM		Rc RL		Rs RL		Média
	D	E	D	E	D	E	D	E	
EAM (mm)	0.756	0.693	0.905	1.151	0.833	0.822	0.947	0.990	0.887
REQM (mm)	1.062	1.098	1.176	1.459	1.479	1.186	1.487	1.642	1.324

Estas medidas mostram erros médios, em milímetros, de cada operação sobre cada músculo de ambos olhos. Os melhores valores de ambos EAM e REQM são dados pelo método MTRS, assim como os menos satisfatórios são dados pelo método ST.

O método ST adquiriu uma performance que registrou EAM global de 0.896 mm e REQM global de 1.34 mm. Pode-se verificar que mesmo este tendo médias globais inferiores, apresenta estatísticas melhores em certas operações (i.e. RcRMD supera os valores EAM em RCC e em REQM supera ambos RC e RCC, o mesmo sendo válido para RsRLD).

Dentre os resultados apresentados pelos modelos, é possível observar que o método *Multi-Target Regressor Stacking*, com um EAM de 0.798 mm e REQM de 1.259 mm,

foi o que apresentou resultados mais satisfatórios quando comparado ao plano cirúrgico sugerido por um médico especialista.

Apesar de ter apresentado os melhores resultados globais, EAM de 0.798 mm e REQM de 1.259 mm, o método RS tem sua performance subjugada pelos métodos ST e RCC em algumas medidas (i.e. EAM de ambos RcRL do método RCC, e REQM da operação RsRLD do método ST).

Apesar do erro global está próximo de 1 mm, em alguns casos o método apresentou resultados com diferença superior a 2 mm sugerindo plano cirúrgico divergente do especialista. Tais divergências apontam a necessidade de aquisição de planos cirúrgicos realizados por vários especialistas para ampliar da base de treino.

Os erros próximos a 1 mm podem ser consideradas pequenos, uma vez que há divergências mesmo entre opiniões de profissionais quanto aos valores das correções aplicáveis nas operações. Bem como existem, também, erros humanos relacionados à precisão durante as cirurgias que podem chegar a 1.7 milímetros, de acordo com [Schutte et al. 2008].

6. Conclusão

Este trabalho apresenta a viabilidade do uso de técnicas de regressão e aprendizado de máquina no planejamento de cirurgias de correção de estrabismo, provendo estimativas baseadas em dados médicos já existentes. As contribuições deste trabalho está na utilização de modelos de múltiplas saídas que buscam aproveitar os relacionamentos entre os valores-alvo do planejamento. Estes métodos, em conjunto com as SVR, resultaram em modelos preditivos capazes de estimar valores para as operações de recuo e ressecção referentes aos músculos horizontais em ambos os olhos, formando assim um plano cirúrgico dado por oito valores-alvo.

A metodologia proposta consistiu na montagem dos planos através dos três métodos apresentados neste trabalho. Os resultados obtidos com cada método foram comparados com os planos sugeridos por um médico especialista, que também forneceu os dados utilizados no treinamento dos modelos.

Além deste método apresentamos também os métodos *Single-Target* e *Regressor Chains Corrected*, tendo o segundo obtido resultados próximos aos do MTRS. A diferença entre RCC e MTRS é inferior a 0.1 mm em ambos EAM e REQM, possivelmente devido a ordem da cadeia utilizada.

Os resultados obtidos estão próximos aos apresentados em [Almeida et al. 2015] que obtiveram EAM médio global de 0,98 mm e REQM médio global de 1,6 mm. Indicando a viabilidade da utilização de regressores com múltiplas saídas. Entretanto, para termos uma comparação mais justa necessitamos reproduzir a mesma abordagem de teste utilizada por [Almeida et al. 2015].

Por fim, propomos como futuros trabalhos a utilização de uma base de plano cirúrgico maior, dada não somente por mais instâncias como também contendo planos sugeridos por mais oftalmologistas, de forma a diversificar e dar maior confiabilidade para o método. Sugere-se também a utilização de novas cadeias no método RCC. Também sugere-se a expansão deste método para operações de estrabismo vertical.

7. Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPEMA (Processo: UNIVERSAL-01082/16) e ao CNPq, pelo apoio financeiro.

Referências

- Almeida, J. D. S. d., Silva, A. C., Teixeira, J. A. M., Paiva, A. C., and Gattass, M. (2015). Surgical planning for horizontal strabismus using support vector regression. *Computers in biology and medicine*, 63:178–186.
- Borchani, H., Varando, G., Bielza, C., and Larrañaga, P. (2015). A survey on multi-output regression. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery*, 5(5):216–233.
- Diaz, J. P. and Dias, C. S. (2000). *Strabismus*. Butterworth Heinemann, Woburn, Massachusetts, EUA.
- Mills, M. D., Coats, D. K., Donahue, S. P., and Wheeler, D. T. (2004). Strabismus surgery for adults: a report by the american academy of ophthalmology. *Ophthalmology*, 111(6):1255–1262.
- NOEL, L., BLOOM, J., CLARKE, W., and BAWAZEER, A. (1997). Retinal perforation in strabismus surgery. *Journal of pediatric ophthalmology and strabismus*, 34(2):115–117.
- Noorden, G. V. and Campos, E. (2001). *Binocular vision and ocular motility: theory and management of strabismus*. Mosby Inc.
- Queiroz, F. C. M. (2010). Análise de componentes principais na meta-análise para obtenção de equações de predição de valores energéticos de alimentos para aves. Master's thesis, Universidade Federal de Lavras.
- Read, J., Pfahringer, B., Holmes, G., and Frank, E. (2011). Classifier chains for multi-label classification. *Machine learning*, 85(3):333.
- Schutte, S., Polling, J. R., van der Helm, F. C. T., and Simonsz, H. J. (2008). Human error in strabismus surgery: quantification with a sensitivity analysis. *Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*, 247(3):399.
- Spyromitros-Xioufis, E., Tsoumakas, G., Groves, W., and Vlahavas, I. (2012). Multi-label classification methods for multi-target regression. *arXiv preprint arXiv:1211.6581*.
- Vapnik, V. (1998). *Statistical learning theory*. 1998, volume 3. Wiley, New York.
- Vapnik, V., Golowich, S. E., Smola, A., et al. (1997). Support vector method for function approximation, regression estimation, and signal processing. *Advances in neural information processing systems*, pages 281–287.
- Witten, I. and Frank, E. (2005). Data mining: practical machine learning tools and techniques. *Morgan Kaufmann, San Francisco, USA*.
- Ziaei, H., Katibeh, M., Mohammadi, S., Mirzaei, M., Moein, H.-R., Kheiri, B., Taghad-dos, S., and Rajavi, Z. (2016). The impact of congenital strabismus surgery on quality of life in children. *Journal of Ophthalmic & Vision Research*, 11(2):188.

Desenvolvimento e validação de um protótipo para a coleta de sinais vitais

Jorge Arthur Schneider Aranda, Marta Rosecler Bez, Juliano Varella de Carvalho

Grupo de Computação Aplicada – Universidade FEEVALE
ERS 239, 2755 - Vila Nova, Novo Hamburgo - RS, 93525-075

jorgearthurs@hotmail.com, julianovc@feevale.br, martarb@feevale.br

***Abstract.** This paper presents the development of a prototype for the monitoring of vital signs through Arduino and e-health prototyping boards. The methodology used was exploratory and the prototype was validated with athletes of an amateur volleyball team and its coach. After the use was applied a satisfaction questionnaire to the athletes and coach. In both cases the receptivity to use this type of technology was very good.*

***Resumo.** Este artigo apresenta o desenvolvimento de um protótipo para o monitoramento de sinais vitais através das placas de prototipagem Arduino e e-Health. A metodologia utilizada foi exploratória e o protótipo foi validado com atletas de um time amador de vôlei feminino e seu treinador. Após o uso foi aplicado um questionário de satisfação às atletas e ao treinador. Em ambos os casos, os participantes demonstraram receptividade para o uso deste tipo de tecnologia.*

1. Introdução

A otimização da carga de treinamento de atletas deve levar em consideração suas características pessoais. Segundo Dücking et al. (2016), atletas em geral necessitam reajustar seus treinamentos diariamente a fim de otimizar seu desempenho, evitando a fadiga, o treinamento demasiado e outros efeitos indesejáveis para a sua saúde.

Atualmente existem soluções que permitem a coleta de sinais vitais, tais como plataformas de prototipagem eletrônica (Arduino, Raspbery, etc). A partir de uma investigação prévia realizada nesta pesquisa, encontrou-se também a placa e-Health, especializada na coleta de sinais vitais de um usuário.

Um exemplo de uso de tecnologias similares ao da placa supracitada, é o recurso de telemedicina. Este recurso permite que os pacientes se conectem a provedores via telefone ou uma webcam para discutir suas preocupações médicas e receber orientação sobre o que devem fazer (CARVALHO, 2015), incluindo ir a uma farmácia para pegar uma prescrição ou verificar se os sintomas não pioraram antes de ver um médico em pessoa para receber o tratamento adequado.

Existem exemplos de serviços tal qual a plataforma de telemedicina da *Unitcare* Saúde. A solução oferece sete equipamentos modulares que podem monitorar doenças de alta complexidade através de uma Central de Exames remota (TIZATTO, s.d.).

Este serviço se baseia em oferecer aparelhos de captura de sinais vitais, tais como pressão sanguínea, oximetria, temperatura, peso, índice glicêmico, que são conectados via *bluetooth* até um receptor, que transmite as informações para uma central onde os dados serão analisados e armazenados, através de um sinal de internet ou rede celular, a exemplo de um celular comum. Dessa forma, o paciente é monitorado 24 horas por dia, sete dias por semana, sem interrupções. Sofrendo atualizações a cada 30 segundos, os dados podem ser acessados pelos profissionais de saúde autorizados de qualquer computador com acesso a internet, *tablet* ou *smarthphone*, em tempo real e de forma eficaz. Todos os dados são criptografados e a segurança da informação é tratada como prioridade (TIZATTO, s.d.).

Todos esses cuidados à distância demandam de tecnologias diversas para seu funcionamento. Uma das alternativas é utilizar plataformas de prototipagem, que devido a um processamento satisfatório para este tipo de aplicação e de tamanho reduzido, podem ser de grande utilidade na área de saúde.

Dentre os trabalhos relacionados, podemos citar o trabalho de Vargas Escobar e Salinas (2016). Este trabalho utiliza-se da plataforma de prototipagem Arduino para monitorar a frequência cardíaca, permitindo que em caso de uma situação mais grave o próprio dispositivo avise o hospital ou clínica, cadastrada previamente pelo paciente, para enviar o serviço de emergência com rapidez e agilidade.

Há também os estudos com a própria placa e-Health, conduzidos por Rakáy et al. (2015), onde foram analisados os sensores de batimentos cardíacos, acelerômetro, temperatura da pele e fluxo respiratório. Neste estudo a comunicação empregada foi *wireless*, onde os dados foram enviados para outro receptor *wireless* conectado a um Arduino e este, por sua vez, conectado a um computador onde eram exibidos os resultados. Ou seja, neste caso os dados não foram enviados para a nuvem (*cloud*).

O artigo em questão está dividido em seis seções. A primeira é esta introdução. A segunda seção aborda a metodologia empregada na pesquisa. A terceira e quarta seções abordam as tecnologias utilizadas e o desenvolvimento do protótipo. A seção cinco discute a validação realizada e, por fim, conclusões são apresentadas na sexta seção.

2. Metodologia

Este estudo trata-se de uma pesquisa experimental, composta de um grupo voluntário. O protótipo foi desenvolvido e validado com seis atletas da equipe feminina de vôlei da Universidade Feevale, em dois dias diferentes, sempre com uma coleta anterior ao treino e outra posterior, totalizando quatro coletas. Os dados foram enviados para a nuvem e puderam ser visualizados por meio de um aplicativo para celular.

A população estudada é composta de indivíduos membros de um time de vôlei amador. O tipo de amostra é não probabilística, composta por 7 indivíduos, 6 atletas dos quais foram obtidos os dados e um treinador que os analisou. Os sinais capturados foram batimentos cardíacos, temperatura e pressão arterial. Todos os participantes assinaram o termo de livre esclarecimento, sendo esta pesquisa encaminhada ao comitê de ética da Universidade, a partir de seu cadastro na Plataforma Brasil.

A aferição foi efetuada durante dois momentos, capturando os sinais vitais dos atletas antes e depois do treino. O protótipo estava conectado na rede Wi-Fi compartilhada de um *smartphone* que possui conexão 3G. Esta coleta consistia em efetuar *upload* do código para o Arduino, desligar o equipamento e, em seguida, conectar um dos sensores, sempre respeitando sua ordem (1º batimentos cardíacos e 2º temperatura) e, por fim, ligava-se o equipamento para de fato coletar o sinal vital.

Durante o desenvolvimento desta metodologia, foram questionados alguns atletas e o técnico do time de vôlei da universidade Feevale. Conforme este contato, delimitou-se que uma possível maneira para efetuar a coleta seria a mencionada na metodologia apresentada anteriormente.

Com base na literatura citada, questiona-se se é possível, através da placa e-Health, capturar dados de atletas que possam gerar informações de apoio a treinadores e preparadores físicos? Para responder a este questionamento, o objetivo geral deste trabalho foi o de criar um protótipo em Arduino, em conjunto com o *Shield* e-Health, que coletou sinais vitais dos atletas e enviou esses dados para nuvem (*cloud*), para o repositório de dados Thingspeak, via comunicação *wireless*.

3. Tecnologias empregadas

No decorrer deste trabalho, diversas tecnologias foram empregadas. Desde plataformas de prototipagem até repositório de dados na nuvem. As plataformas de prototipagem consistem em dispositivos de placa única, com um micro controlador (WHAT IS ARDUINO, 2015) que permitem ao usuário executar as mais diversas funções, como automação residencial, automação industrial e também aplicações voltadas para a saúde. Nesta seção serão abordados alguns conceitos importantes destes tipos de placas e, por fim, um estudo da placa Arduino, que foi utilizada para a construção do protótipo deste trabalho.

Arduino (Figura 1) é uma placa de prototipagem em uma plataforma física de computação de código aberto, baseada em uma simples placa micro controladora, e um ambiente de desenvolvimento para escrever o código para a placa (WHAT IS ARDUINO, 2015). A placa de prototipagem Arduino pode ser utilizada para a criação de objetos interativos, permitindo entradas desde sensores, que controlam uma variedade de motores, luzes ou outras saídas físicas. Projetos em Arduino podem ser independentes, ou podem comunicar-se com software rodando através de um computador. Os circuitos podem ser montados manualmente ou comprados pré-montados; o software para programação é de código-livre e pode ser baixado gratuitamente (WHAT IS ARDUINO, 2015).

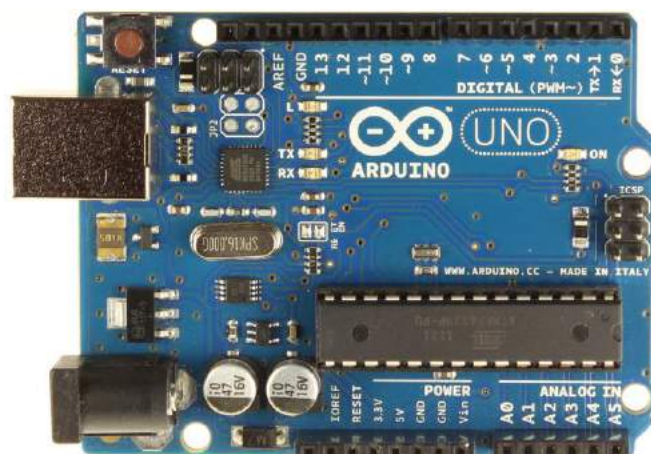


Figura 1 – Arduino (Lab de Garagem, 2015).

O *Shield e-Health* (Figura 2) permite, em conjunto com uma placa de prototipagem como Arduino ou *Raspberry Pi*, executar aplicações biométricas e médicas onde o monitoramento de sinais vitais é necessário, usando até 9 sensores diferentes: oxigenação sanguínea (SpO₂), fluxo de ar (respiração), temperatura do corpo, eletrocardiograma (ECG), glicosímetro, resposta galvânica da pele (GSR - sudorese), pressão arterial (esfigmomanômetro), posição do paciente (acelerômetro) e músculo / sensor de eletromiografia (EMG). Esses sinais vitais podem ser utilizados para monitorar em tempo real o estado de um paciente ou para obter dados mais sensíveis do mesmo, a fim de serem posteriormente analisados para o diagnóstico médico (COOKING HACKS, 2013).

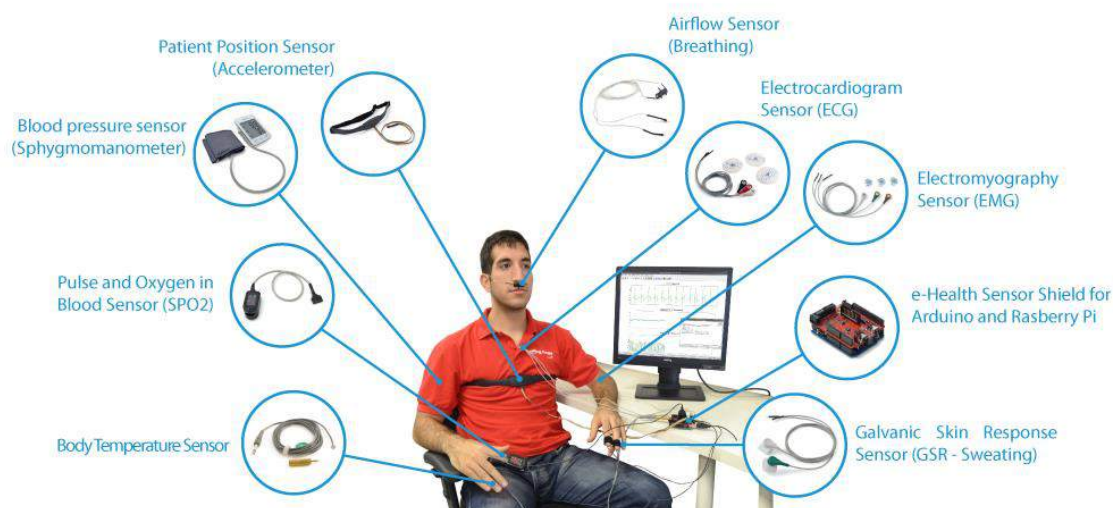


Figura 2 – Exemplo de utilização do *Shield e-Health* e seus diversos sensores (Cooking Hacks, 2013).

Para poder armazenar os dados coletados na nuvem (*cloud*), é necessário utilizar repositórios de dados (CORDEIRO, 2013), tais como o *Thingspeak*. Esta é uma plataforma de prestação de diversos serviços, exclusivamente direcionada para a construção de aplicações da IoT (*Internet Of Things* – Internet das Coisas). A plataforma

oferece as capacidades de coleta de dados em tempo real, possibilitando que os dados recolhidos sejam exibidos na forma de gráficos, por exemplo.

4. Desenvolvimento

Para funcionamento da placa e-Health é necessário que a mesma esteja conectada sobre o Arduino. A placa e-Health pode receber os códigos desenvolvidos em Arduino, pois a IDE interpreta que o Arduino e a placa são o mesmo dispositivo.

A solução escolhida para enviar os dados para a nuvem foi o *Shield* Wi-Fi ESP8266, pois este é facilmente encontrado e adquirido, assim como o desenvolvimento para o mesmo também pode ser efetuado na IDE do Arduino. Isso permite ao protótipo ter uma conexão Wi-Fi plena, sem necessitar de códigos e recursos complexos, pois todos os protocolos necessários já estão nativos no *Shield* (Figura 3).

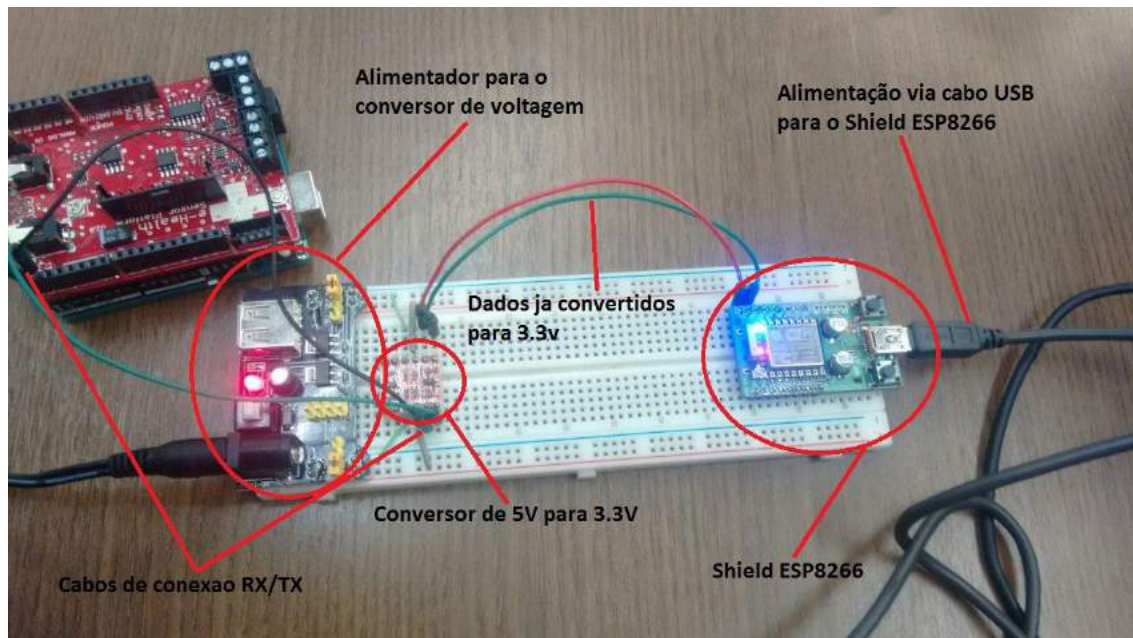


Figura 3 – Esquema de conexão do protótipo (Do autor, 2016).

Para a comunicação com o Arduino/*Shield* e-Health foi necessário fazer uma conexão entre os cabos RX/TX do *Shield* com o do protótipo, conforme demonstrado na Figura 3. Para utilizar a solução proposta também foi necessário instalar em uma *protoboard* um conversor de voltagem, uma vez que o Arduino envia 5v e o *Shield* ESP8266 apenas recebe 3.3v. Conforme apresentado na Figura 3, a placa e-Health envia os dados a partir das suas portas TX (cabo verde) e RX (cabo preto) para o conversor que, por sua vez, converte os sinais elétricos para que possam ser interpretados (evitando queimar) o *Shield* ESP8266.

Um aplicativo em Android foi desenvolvido para permitir a um indivíduo interessado o acompanhamento dos valores aferidos. Entende-se que para um treinador de algum time de esportes, por exemplo, é mais prático visualizar as informações em um dispositivo móvel (*tablet*, *smartphone*) do que em um computador, que nem sempre está perto dos ambientes de prática dos esportes.

É importante reforçar que para privacidade dos atletas os nomes não foram incluídos no *app*. Uma vez clicado em um dos atletas, é exibida uma tela (Figura 4) onde é possível escolher o sinal vital a ser exibido. Em um primeiro momento, visualiza-se apenas o traçado gráfico efetuado pelos valores das coletas de sinais vitais. Mas, se for tocado nos pontos, são exibidas mais informações a respeito da medição, conforme Figura 4.



Figura 4 – Telas do aplicativo Android desenvolvido (Do autor, 2016).

Através das soluções descritas até aqui foi possível aferir os sinais vitais, enviá-los através da Wi-Fi para. Por fim, armazená-los no repositório de dados *Thingpseak* e visualizá-los através de um smartphone.

5. Resultados e discussão

Uma vez concluídas as aferições, os dados foram disponibilizados para o técnico do time de vôlei analisar e, a partir destas informações, verificar se os dados observados faziam sentido de acordo com o momento pré ou pós treino. Também foram aplicados questionários com quatro atletas (duas faltaram ao treino no dia da aplicação do questionário) e com o treinador.

Quando questionado se existiu algum tipo de desconforto ou mal estar nas medições dos sinais vitais, 100% dos respondentes afirmaram que não houve nenhum tipo de desconforto. Foi questionado se o atleta acredita que esta medição pode ajudar a melhorar o desempenho no esporte. Três dizem acreditar que sim e uma que não. Foi questionado também se a atleta ficou satisfeita com a maneira que os dados foram obtidos. Três responderam que sim e uma respondeu que não sabia ou não queria opinar.

O treinador também respondeu a um questionário composto de três perguntas. A primeira era se houve dificuldade para acessar os sinais vitais dos atletas. O treinador considerou ser fácil de acessar e ressaltou que ter essas informações no seu celular é bem mais prático que em um computador, por exemplo.

Na segunda pergunta foi questionado se esse tipo de monitoramento pode ajudar a melhorar o rendimento dos atletas. O treinador acredita que com os dados dos atletas sendo exibidos de forma mais ágil e prática, é possível ajustar treinos, de acordo com a fadiga do atleta, inclusive, em alguns casos, reduzindo o risco de lesões.

Por fim, foi questionado se o treinador usaria novamente esse recurso para mapear os sinais vitais dos seus atletas. O treinador acredita que seria interessante executar novamente estes tipos de experimentos, pois disponibiliza mais informações, lhe permitindo tomar decisões possivelmente mais acertadas.

6. Conclusão

Este trabalho apresentou o desenvolvimento de um protótipo, de forma a oferecer a captura de sinais vitais de maneira prática e, de certo modo, móvel. Desta forma, por exemplo, o usuário não precisaria ir seguidamente ao médico, para uma simples captura de um sinal vital específico, dependendo somente de um pequeno protótipo, do tamanho aproximado ao de um cartão de crédito, utilizando todos os recursos da placa de prototipagem Arduino.

Em conjunto com esta placa de prototipagem foi usado o *Shield* e-Health. Este *Shield* é responsável pela captura dos sinais vitais, juntamente com mais um *Shield* Wi-Fi, que envia os dados para a nuvem. Dessa forma, podem ser monitoradas possíveis alterações vitais, até mesmo, permitindo a um profissional da saúde ou o próprio usuário tomar ações a partir das informações obtidas.

Através da validação efetuada juntamente da equipe de vôlei da Universidade, foi atingido o objetivo geral de construir um protótipo que permitisse coletar e enviar as informações de sinais vitais para a nuvem (*cloud*). Os dados foram coletados e enviados para o repositório de dados (*Thingspeak*) e foram acessados pelo celular do treinador da equipe.

Este trabalho teve alguns problemas não previstos no seu decorrer, o que, de certa forma, ajudou a melhorá-lo e abriu diversas novas ideias para trabalhos futuros, como, por exemplo: criar um protótipo para auxiliar idosos, como um monitor de quedas; ajustar o trabalho existente para exibir as informações aferidas em uma tela acoplada ao equipamento, permitindo a um profissional da saúde aferir populações em áreas mais isoladas, onde não há todo o equipamento tradicional. Também validar o

quão confiáveis são os valores coletados em comparação a equipamentos já utilizados em hospitais e clínicas. Armazenar localmente os dados de sinais vitais coletados, uma vez que dados da área da saúde são bastante sensíveis, e a perda destes, por algum erro de comunicação, por exemplo, pode causar prejuízos ao usuário, uma vez que este dado não pode ser obtido naquelas mesmas condições novamente.

Se comparado aos resultados dos trabalhos relacionados, como por exemplo o trabalho de Rákay et al. (2015), que também utilizou da placa *e-Health*, neste trabalho foi possível enviar as informações a nuvem e permitir as mesmas serem acessadas via dispositivos móveis. No trabalho citado as coletas somente eram enviadas dentro da mesma rede Wi-fi, sem conectividade com a internet. Já em comparação com o trabalho de Vargas Escobar e Salinas (2016), este trabalho visa coletar diferentes sinais vitais, com potencial de coletar pelo menos mais 4 sinais vitais, enquanto que o trabalho mencionado coleta apenas um tipo de sinal vital (frequência cardíaca).

Por fim, entende-se que a área de *eHealth* é riquíssima e ainda pouco explorada, pois permite diversas possibilidades de acordo com a necessidade desejada. Basta integrá-la corretamente aos conceitos da *IoT*, permitindo resultados inovadores que podem agregar nas mais diversas áreas, seja da saúde ou esportes.

Referências Bibliográficas

Carvalho, C. (2015) “ E-health: a importância e as vantagens para os mais idosos” . Disponível em: <<http://agusvinnus.prodiversitas.org/revistas/Carvalho2.pdf>>. Acessado em 02/06/16.

Cooking Hacks. (2013) “ *E-health sensor platform v2.0 for arduino and raspberry pi*” . Disponível em: <<https://www.cooking-hacks.com/documentation/tutorials/ehealth-biometric-sensor-platform-arduino-raspberry-pi-medical>>. Acessado em 27/11/15.

Cordeiro, J. L. (2013) “ *The energularity*” . Disponível em: <http://cesd.az/new/wpcontent/uploads/2013/05/CordeiroEnergularity2013_Paper.pdf>. Acessado em 03/11/2015.

Della Mea, V. (2001) “ *What is e-health (2): the death of telemedicine?*” . Disponível em: <<http://www.jmir.org/2001/2/e22/>>. Acessado em 08/05/16.

Düking, P.; Hotho, A.; Holmberg, H.-C.; Fuss, F. K.; Sperlich, B. (2016) “*Comparison of non-invasive individual monitoring of the training and health of athletes with commercially available wearable technologies*”. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4783417/>>. Acessado em 09/12/2016.

Evans, D. (2011) “A internet das coisas como a próxima evolução da internet está mudando tudo”. Disponível em: <http://www.cisco.com/web/BR/assets/executives/pdf/internet_of_things_iot_ibsg_0411final.pdf>. Acessado em: 02/05/16.

Rákay, R.; Višňovský, M.; Galajdová, A.; Šimšík, D.(2015) “*Testing Properties of E-health System Based on Arduino.*” *Journal of Automation and Control*, vol. 3, no. 3 (2015): 122-126. doi: 10.12691/automation-3-3-17.

Tizatto, L. s.d.. Disponível em: <<http://www.unitcare.com.br/imprensa/43-unicare-saude-oferece-primeira-plataforma-de-telemedicina-para-homecare-de-alta-complexidade>> Acessado em: 08/05/16.

Vargas Escobar, L.J.; SALINAS, S.A.(2016) “ *e-Health prototype system for cardiac telemonitoring.*”. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28269253>>. Acessado em: 02/05/2017

Wakefield, B. J.; Holman, J. E.; Ray, A.; Morse, J.; Kienzle, M. G. (2004) “ *Nurse and patient communication via low-introduction and high-bandwidth home telecare systems*” . Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15165441>>. Acessado em 02/06/16.

“ *What is arduino* ” (2016) Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>>. Acessado em 09/10/2016.

Ferramenta para Extração de Múltiplas Características em Exames Médicos por Imagem

Adriana N. Reis¹, Rodrigo F. Rönnau², Nicolas Pohren¹, Jonata Becker¹, Anderson R. Spaniol¹, Marta R. Bez¹, Rodrigo R. V. Goulart¹

¹ Universidade Feevale – Novo Hamburgo (RS) – Brasil

² Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS) – São Leopoldo (RS) – Brasil

{adriana.anreis, rodrigo.ronnau, nicolaspohren, jonatabecker, andersonspaniol1994, martabez, rodrigo.goulart}@gmail.com

Abstract. *Diagnostic imaging has contributed significantly to patient care, especially the use of computed tomography images, which allow the internal visualization of the body with high anatomical detail. To assist the physician in the analysis of these images, different computational solutions are found. However, it is common for each tool to perform the extraction of a specific characteristic. In this sense, the project described in this paper proposes building a tool to extract different characteristics in an integrated way, giving the doctor the support of algorithms with different purposes from the same exam. To do so, the Software Product Lines approach is adopted.*

Resumo. *O diagnóstico por imagem tem contribuído significativamente para o atendimento ao paciente, destacando-se o emprego das imagens de tomografia computadorizada, que permitem a visualização interna do corpo com elevado detalhamento anatômico. Para auxiliar o médico na análise dessas imagens são encontradas diferentes soluções computacionais. Porém, é comum que cada ferramenta realize a extração de uma característica específica. Assim, o projeto apresentado neste artigo propõe a construção de uma ferramenta para extração de diferentes características de modo integrado, oportunizando ao médico a execução de algoritmos com diferentes propósitos a partir de um mesmo exame. Para tanto, Linhas de Produto de Software é adotada.*

1. Introdução

Na rotina de realização de diagnósticos a partir de imagens médicas, é responsabilidade de um especialista, ou grupo de especialistas, realizar a análise e interpretação de um exame, avaliando todas as imagens que o compõem, uma a uma. Além disso, em diversos casos, a interpretação realizada tem caráter subjetivo, uma vez que o profissional analisa as imagens de acordo com sua experiência e conhecimento.

Para auxiliar neste processo existem diferentes soluções computacionais, tanto na esfera acadêmica como ferramentas comerciais. Contudo, percebe-se que elas atendem, geralmente, a um propósito específico, tal como a segmentação de uma estrutura anatômica ou a quantificação de um determinado elemento. O que na prática não se torna atrativo aos médicos, em função da não existência de uma visão integrada das características que são processadas automaticamente.

Assim, o projeto apresentado neste artigo tem como objetivo a construção de uma ferramenta para a extração e apresentação de diversas características em exames médicos por imagem, a partir de uma arquitetura modular e expansível. Desse modo, é esperado que ela seja utilizada pelo médico como uma plataforma única para suporte à decisão clínica, permitindo a realização de laudos mais completos e precisos.

Na próxima seção é apresentada a arquitetura de software em desenvolvimento para a construção da ferramenta, seguida dos resultados preliminares, na seção 3. Por fim, a seção 4 apresenta Considerações Finais sobre o trabalho em andamento.

2. Arquitetura em Desenvolvimento

A partir do problema apresentado, este estudo investiga meios para aumentar a acurácia do diagnóstico baseado em exames médicos por imagem, especificamente de tomografia computadorizada (TC), utilizando técnicas de processamento digital de imagens. Assim, a partir da execução de diferentes algoritmos, detalhados em [Reis et al. 2016], pretende-se fornecer ao médico múltiplas características que o auxiliem na tomada de decisão que envolve a elaboração de laudos. Entre as informações obtidas, estão algoritmos para: segmentação do pericárdio, segmentação dos pulmões, quantificação da calcificação arterial coronariana, e quantificação da gordura epicárdica.

Uma vez que a proposta está baseada na integração de diferentes algoritmos, identificou-se a oportunidade de aplicar a abordagem de Linhas de Produto de Software (*Software Product Lines - SPL*) como estratégia para a construção da ferramenta. SPL pode ser entendido como um conjunto de sistemas de software que possuem características compartilhadas, para atender necessidades de um segmento específico a partir de um núcleo comum [SEI 2017]. Assim, é possível construir produtos distintos a partir dos mesmos blocos de construção, reduzindo o seu custo de desenvolvimento e aumentando a qualidade e consistência do sistema entregue [Linden et al. 2007].

De forma geral, SPL é uma alternativa para trabalhar com famílias de produtos relacionados a uma mesma área [Wazlawick 2013]. Para implementá-la, três atividades são consideradas essenciais: desenvolvimento do núcleo de ativos de produtos, desenvolvimento de produtos e gerência [Northrop 2004]. Na fase atual do projeto, as duas primeiras estão em desenvolvimento.

O desenvolvimento dos ativos de produtos está consolidado em um *framework*, construído a partir de uma série de soluções desenvolvidas separadamente para processamento de imagens de TC do tórax [Reis et al. 2016], o qual é representado de forma esquemática na Figura 1. Ele está organizado em cinco módulos, descritos a seguir:

- PDI: implementações de algoritmos de processamento de imagens, que são aplicados aos exames médicos no processo de extração de características, como, por exemplo: histograma, limiarização, remoção e redução de ruídos, operações de convolução, métodos de classificação, entre outros;
- Uso Comum: classes de uso comum por todos os outros módulos, utilizadas na troca de informações entre estes;

- Acesso a Arquivos: camada de acesso a arquivos DICOM (*Digital Imaging and Communications in Medicine*), que é o formato padrão dos exames utilizados;
- Orquestração do Fluxo de Processamento: camada que permite determinar a sequência de invocação dos métodos do módulo de PDI de acordo com cada característica que se deseja obter;
- Interface de Uso: interface de operação do sistema, construída sobre o padrão MVC (*Model View Controller*).

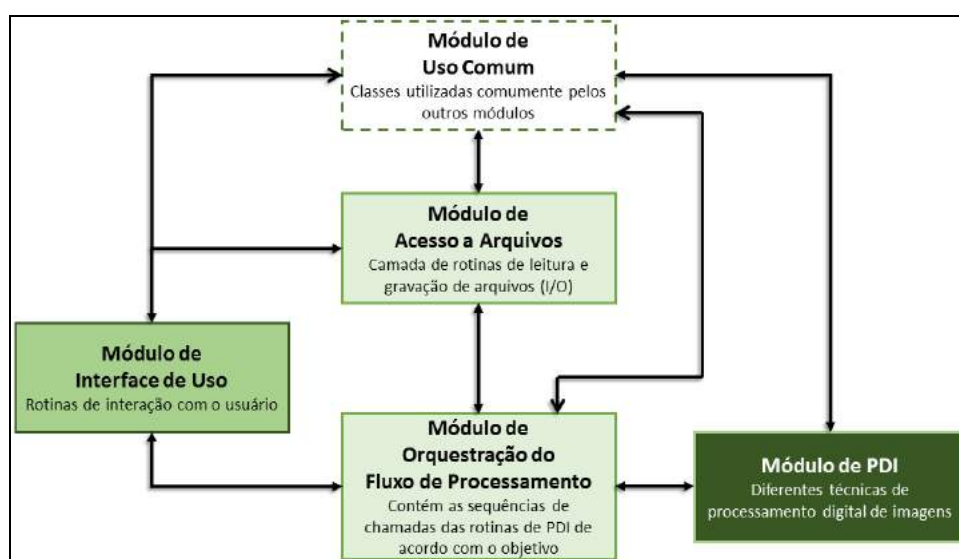


Figura 1. Diagrama simplificado do framework proposto. O autor

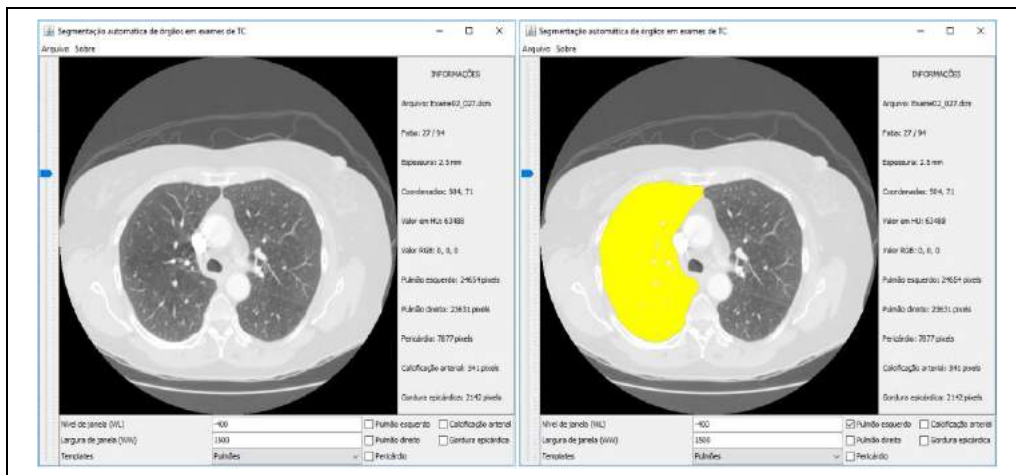
Com base nestes módulos, as características extraídas são disponibilizadas por uma ferramenta proposta para a visualização das análises, a qual é o primeiro produto desenvolvido pelo projeto. O detalhamento deste produto é apresentado na seção a seguir.

3. Resultados Preliminares

A Figura 2 apresenta a interface gráfica do primeiro produto em desenvolvimento. Nela, todos os passos do processamento são executados de forma automática, sem a necessidade de intervenção humana.

Como pode ser visto na Figura 2, ao final da execução dos processos são disponibilizados os dados obtidos pela ferramenta, que também contém recursos de visualização e manipulação das imagens que compõem os exames. Em relação à manipulação e visualização, como os exames de TC são formados, usualmente, por um grande número de imagens, é necessário permitir navegar entre elas de maneira sequencial. Além disso, estão disponíveis opções para modificar parâmetros de nível e largura de janela, possibilitando ao operador realizar ajustes finos que melhoram o contraste das diferentes estruturas anatômicas a serem avaliadas.

A validação será feita por profissionais da saúde, que irão utilizar o protótipo com exames de TC obtidos através do TCIA (*The Cancer Imaging Archive*), avaliando a precisão, usabilidade e contribuição da ferramenta no processo de diagnóstico.



(a)

(b)

Figura 1. Imagem preliminar da interface gráfica da ferramenta. (a) Imagem do resultado do carregamento de um exame. (b) Imagem do resultado do algoritmo de segmentação dos pulmões com a opção de destaque de um deles utilizada. (c) Imagem do autor

4. Considerações Finais

Foi descrita a proposta da construção de uma ferramenta para a extração e apresentação de diferentes características em exames médicos por imagem, a partir de uma arquitetura modular e expansível. O trabalho está em fase de desenvolvimento, sendo o módulo de PDI o que está no estágio mais avançado. A interface de uso está funcional, porém estão sendo feitas pesquisas quanto ao seu *design*, com o objetivo de melhorar a usabilidade para profissionais da saúde. O processo de segmentação dos pulmões, que é descrito no módulo de orquestração do fluxo de processamento, está concluído, utilizando também o módulo de acesso a arquivos DICOM para obter dados dos exames que estão armazenados nesse formato.

Os próximos passos abrangem a construção dos processos de segmentação do pericárdio, quantificação de gordura epicárdica e quantificação da calcificação arterial coronariana no módulo de orquestração do fluxo de processamento. Também está prevista a expansão do módulo de acesso a arquivos, permitindo a obtenção de mais informações dos exames.

Referências Bibliográficas

- Linden, F., Schmid, K. and Rommes, E. (2007), *Software Product Lines in Action*, Springer.
- Northrop, L. (2004), *Software Product Adoption Roadmap*, Pittsburg: SEI.
- Reis, A. et al. (2016), *Ferramenta para apoio ao diagnóstico baseada em processamento de imagens de tomografia computadorizada do tórax*, ERCAS 2016.
- SEI – Software Engineering Institute (2017) “Software Product Lines”, <http://www.sei.cmu.edu/productlines/>, Março.
- Wazlawick, R. S. (2013), *Engenharia de software: conceitos e práticas*, Elsevier.

Uma Abordagem de Classificação de Imagens Dermatoscópicas Utilizando Aprendizado Profundo com Redes Neurais Convolucionais

Alan Santos¹, Kelson Aires¹, Rodrigo Veras¹, Valeska Uchôa¹, Luís Santos¹

¹Núcleo de Computação – Universidade Federal do Piauí – UFPI

Caixa Postal 64.049 – 550 – Teresina – PI – Brasil

email: {kelson,rveras}@ufpi.edu.br, {alan.rafael18,valeskauchoa,luisteixeira}@gmail.com

Abstract. *The automatic identification of melanoma in dermoscopic images is still a problem difficult to handle. In this regard, this work proposes an approach to classify these images, using deep learning with convolutional neural networks. The Alexnet and VGG-F architectures were trained with dermoscopic images, and used as models to describe characteristics, through the last layers totally connected. The classification of the extracted data was performed by some traditional algorithms. On the best result of the approach, the classified k-nearest neighbours reached an accuracy of 91,5%, with kappa index of 0,83 and recall and precision higher than 0,9.*

Resumo. *A identificação automática do melanoma em imagens dermatoscópicas ainda é um problema de difícil solução. Nesse contexto, esse trabalho propõe uma abordagem de classificação dessas imagens, utilizando Aprendizado Profundo com Redes Neurais Convolucionais. As arquiteturas Alexnet e VGG-F foram treinadas com imagens dermatoscópicas, em seguida, utilizadas como modelo para descrição de características, através das últimas camadas totalmente conectadas. A classificação dos dados extraídos foi realizada por alguns algoritmos tradicionais. No melhor resultado da abordagem, o classificados K-Vizinhos mais Próximos atingiu uma acurácia de 91,5%, com índice kappa igual a 0,83, recall e precisão maiores que 0,9.*

1. Introdução

A incidência do câncer de pele do tipo melanoma é a mais agressiva e letal no Brasil, correspondendo a 9% de todos os casos de câncer registrados [INCA 2016]. O diagnóstico não invasivo dessa doença é realizado através do exame dermatoscópico, que produz imagens digitais das lesões. Essas imagens são analisadas posteriormente por um médico dermatologista, que determina as chances dessas lesões serem consideradas melanoma. Isso evita a indicação de incisões desnecessárias.

A forma mais utilizada pelos dermatologistas para identificar o melanoma em imagens dermatoscópicas é baseada no padrão visual ABCD (Assimetria, Borda, Cor e Diâmetro). As variações das características desse padrão permitem definir se uma lesão é ou não um câncer melanômico. O processo de identificação das características necessárias é uma tarefa que exige uma certa experiência do especialista, além do diagnóstico preciso.

Vários sistemas já foram desenvolvidos na literatura para ajudar o dermatologista no diagnóstico do melanoma. Essas ferramentas possibilitam uma identificação dos atributos relevantes da doença, favorecendo uma segunda opinião no diagnóstico. A maioria

dessas abordagens são inspiradas no padrão visual ABCD, com a identificação automática das características das lesões nas imagens dermatoscópicas. A classificação desses dados determina a presença ou ausência do melanoma [Maglogiannis and Doukas 2009]. Novas formas estão substituindo esse padrão visual por abordagens de Aprendizado Profundo, utilizando Redes Neurais Convolucionais (RNCs). Esse tipo de rede permite formas de transformação espacial em imagens, com o intuito de produzir apenas dados relevantes no aprendizado e classificação [Shi and He 2011].

O treinamento de Redes Neurais Convolucionais pode gerar modelos robustos que conseguem abstrair informações mais precisas na distinção de imagens em classes, por determinar apenas características espaciais relevantes [Shi and He 2011]. Nesse contexto, o objetivo desse trabalho é desenvolver uma abordagem de Aprendizado Profundo com essas redes para identificar o melanoma em imagens dermatoscópicas, treinando algumas arquiteturas e, em seguida, utilizando-as como modelos para extração de aspectos relevantes das lesões.

Os dados extraídos com as arquiteturas sugeridas serão utilizados para determinar o diagnóstico do melanoma, através dos métodos convencionais de Máquina de Vetor de Suporte (*Support Vector Machine* - SVM), K-Vizinhos mais Próximos (*K-Nearest Neighbor* - KNN) e Perceptron Multicamadas (*MultiLayer Perceptron* - MLP), sugeridos por Maglogiannis et al. (2009)

As principais contribuições desse trabalho seriam a inclusão do Aprendizado Profundo em novas abordagens que envolvem imagens dermatoscópicas e o desenvolvimento de novas ferramentas de extração de características com Redes Neurais Convolucionais que sejam específicas para esse problema e que possam oferecer um ótimo desempenho computacional.

2. Trabalhos Relacionados

As RNCs com aprendizado hierárquico tem conduzido grandes avanços em muitas tarefas de análise que envolvem imagens médicas, incluindo a identificação de atributos relevantes para a classificação de lesões de pele. Alguns pesquisadores estudam essas redes, visando aproveitar a sua capacidade discriminativa para alcançar melhores resultados [Shi and He 2011].

Em Codella et al. (2015) foi proposta uma abordagem de classificação de imagens dermatoscópicas utilizando RNCs pré-treinadas. Esse método aborda uma combinação de Aprendizado Profundo, *sparse coding* e SVM para reconhecimento do melanoma. Os resultados obtidos nos testes com essas redes pré-treinadas atingiram uma acurácia de 72,3%. Essa abordagem considera apenas os recursos de treinamento das redes com imagens diversas.

Na proposta de Majtner et al. (2016) foi desenvolvida uma abordagem de reconhecimento de lesões de pele com uma combinação de redes convolucionais e recursos convencionais de classificação. Na etapa de extração de características essa proposta sugere o uso da arquitetura de convolução Alexnet pré-treinada. Nesse trabalho, as estimativas de dados são dadas pelas últimas camadas dessa arquitetura. Esses são classificados utilizando o algoritmo SVM, atingindo uma acurácia de 80,5%. Essa abordagem desconsidera as características espaciais do melanoma na extração de características, por utilizar modelos treinados com imagens diversas.

No trabalho de Kawahara et al. (2016) é sugerida uma classificação do melanoma sem realizar nenhum tipo de pré-processamento ou segmentação de imagens dermatoscópicas. Essa abordagem também utiliza uma estrutura de rede de convolução pré treinada para descrever características. O diferencial dessa abordagem é a aplicação de uma normalização em lotes de imagens antes de extrair seus recursos. Os resultados obtidos nos testes atingiram uma precisão de 81,8% na identificação das lesões.

As abordagens de classificação do melanoma que não utilizam as estruturas espaciais das lesões no treinamento das redes de convolução, não são capazes de lidar com um diagnóstico eficaz. Nesse sentido, a principal contribuição desse trabalho é o uso dessas características espaciais nesse treinamento, com objetivo de obter modelos treinados que possam oferecer um melhor descrição de imagens dermatoscópicas. Esses dados poderiam possibilitar uma melhor precisão na classificação das lesões.

3. Métodos

O processo de reconhecimento automático do melanoma é um desafio, pois existe um alto grau de similaridade visual entre as lesões de melanoma e não-melanoma. Essas semelhanças podem influenciar no reconhecimento da doença [Gutman et al. 2016]. Nesse sentido, o presente trabalho propõe uma forma de auxiliar na resolução dessa problemática, utilizando Redes Neurais Convolucionais para desenvolver um aprendizado na estrutura das lesões. O intuito é desenvolver modelos capazes de extrair informações relevantes. Nas próximas seções serão apresentadas algumas noções básicas sobre a proposta, as arquiteturas de convolução sugeridas e sua utilização para extração de características.

3.1. Arquiteturas de Redes Neurais Convolucionais e Extração de Características

As RNCs são tipos de redes neurais artificiais que utilizam multicamadas complexas e profundas, que são capazes de reconhecer elementos em imagens. A principal camada dessas redes é a convolução. A sua função é aplicar máscaras nas imagem de entrada, com base em uma vizinhança de *pixels*. A saída produzida nessa operação são os filtros de convolução (matrizes) que armazenam os pesos das conexões entre os neurônios [Parkhi et al. 2015].

A convolução é representada por uma operador linear entre duas funções que produz uma terceira função. Essa representa as áreas de superposição das máscaras que são aplicadas na imagem. A Equação 1 denota uma convolução em relação a um tempo t ,

$$h(v) = (w * x)(t), \quad (1)$$

onde $h(v)$ é a combinação linear dos neurônio em relação a os pesos w na vizinhança x . A distinção de padrões de dados com essa operação é dada por campos receptivos locais (pequenas porções espaciais de *pixels*), que são representados por estruturas de neurônios localmente conectadas [Shi and He 2011].

O compartilhamento de pesos na camada de convolução garante que os filtros sejam aplicados em diferentes posições na imagem, diminuindo significativamente o número de dados a serem aprendidos [Kawahara et al. 2016].

A ativação é uma estrutura muito importante na camada de convolução. Essa realiza um ajuste entre um conjunto de neurônios $y_i(v)$, com uma função de ativação f

sobre uma convolução $h(v)$. Isso produz os mapas de características que armazenam as informações aprendidas dos filtros [Parkhi et al. 2015]. Essa ativação é representada pela Equação 2.

$$y_i(v) = f(h(v)) \quad (2)$$

Outra camada que também é muito importante nas RNCs é a *pooling*. Ela é responsável por reduzir a dimensionalidade dos mapas de características, diminuindo a largura e a altura dos mapas de características. A operação de *pooling* possibilita uma invariância espacial. O agrupamento de características, na maioria das arquiteturas de convolução, utilizam uma função de *Max pooling*. Essa determina o valor máximo de agrupamento em uma vizinhança x . A função *Max pooling* é descrita na Equação 3 [Simonyan and Zisserman 2014].

$$f(x) = \max(x, 0) \quad (3)$$

As próximas camadas das RNCs desempenham o papel de regressão das ativações. Em qualquer rede desse tipo, após a camada de *pooling*, é necessário ao menos uma camada totalmente conectada (*Fully Connected* - FC). Elas servem para criar caminhos de decisões, a partir dos filtros obtidos na camada anterior [Vedaldi and Lenc 2015].

A última camada das redes convolucionais também é totalmente conectada. Essa, por sua vez, é responsável por realizar a classificação dos dados. Nessa situação, uma função determina a identificação das saída em classes. Geralmente, a mais utilizada é a *Softmax*, que é representada na Equação 4,

$$y_i = \frac{e^{z_i}}{\sum_{j \in \text{classe}} e^{z_j}}, \quad (4)$$

onde y_i é probabilidade da saída de um neurônio com índice i , j os índices de saída da camada, e^{z_i} o vetor de saída do neurônio e e^{z_j} o vetor de saída da camada. A *Softmax* determina a probabilidade um conjunto de dados pertencer a uma classe de acordo com sua ocorrência [Parkhi et al. 2015].

O treinamento das RNCs é realizado na maioria dos casos com o *backpropagation*, que ajusta os pesos w dos neurônios pelo erro e , utilizando os componentes do vetor gradiente. A operação é representada na Equação 5,

$$w_{i+1} = w_i + \eta e_i X_i, \quad (5)$$

onde w_{i+1} é o peso do neurônio atual, w_i o peso do neurônio anterior, η o aprendizado da rede, e_i o erro e X_i a entrada [Vedaldi and Lenc 2015].

As arquiteturas de RNCs são criadas para adequar a uma quantidade de imagens e classes, proporcionando um maior reconhecimento de padrões. Vários estudos investigam o tamanho dessas arquiteturas e a sua eficácia. Nesse sentido, a *ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge* (ILSVRC) avalia abordagens de identificação e classificação que utilizam redes profundas. Uma das suas motivações é promover arquiteturas que obtêm grandes progressos [Russakovsky et al. 2015]. Em algumas das suas divulgações,

as arquiteturas de RNCs Alexnet e VGG-F aparecem com bons resultados. A Figura 1 apresenta um esboço dessas arquiteturas.

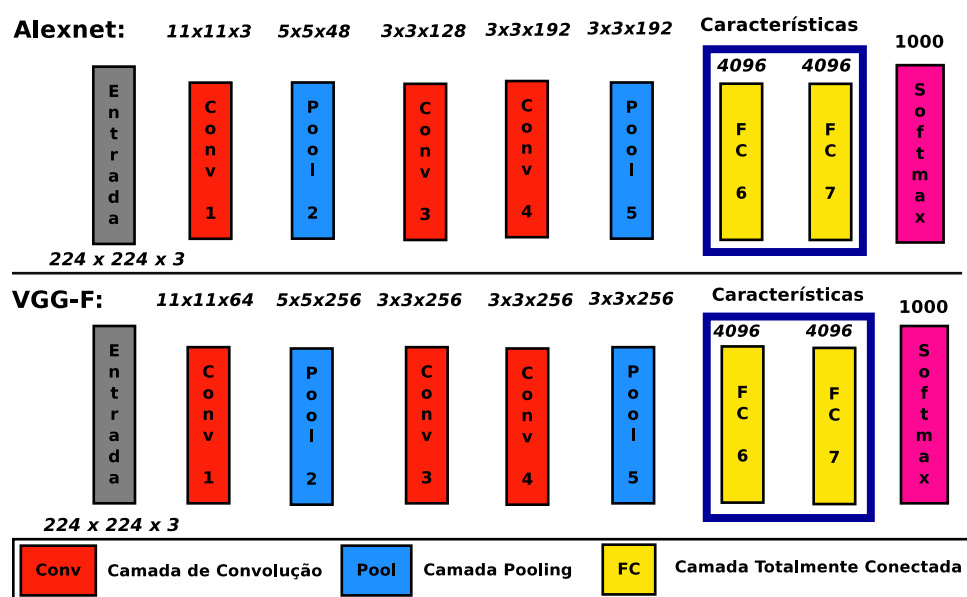


Figura 1. Arquiteturas de RNC.

A Alexnet foi desenvolvida por Krizhevsky et al. (2012) para reconhecimento de objetos diversos. A sua arquitetura é formada por oito camadas. As cinco primeiras camadas pertencem as operações de convolução e são localmente conectadas, já as três restantes são totalmente conectadas. A última camada totalmente conectada é a saída da rede, que é alimentada por uma operação de *Softmax*. Ela possui 1000 saídas, cada uma com rótulo de classe.

A primeira camada de convolução da Alexnet filtra a imagem de entrada com tamanho 224 x 224 x 3, utilizando uma máscara de tamanho 11 x 11 em 3 filtros por camada (11 x 11 x 3). Já a segunda camada recebe as matrizes de convolução e aplica máscaras com a função de *Max-pooling* de 5 x 5 x 48. Na terceira e na quarta camadas são realizadas outras operações de convolução, com máscaras de 3 x 3 x 128 e 3 x 3 x 192. Ao fim dessas convoluções, as matrizes de saída da camada anterior recebe a última operação de *Max-pooling* com uma máscara 3 x 3 x 192.

As camadas totalmente conectadas antes da *Softmax* armazenam as ativações a partir das última operação na camada *pooling*. A classificação dessa arquitetura é dada pelas melhores ativações que são utilizadas pela *Softmax*.

Já a arquitetura VGG-F (*Visual Geometry Group - Fast*) foi desenvolvida para o reconhecimento de faces por Simonyan et al. (2014). Ela é bem semelhante a Alexnet, contudo, a sua estrutura aplica mais filtros por camada.

Após o treinamento de RNCs, as camadas de convolução armazenam os pesos ajustados para responder a padrões relevantes a cada uma das classes impostas. Essas redes passam a ser modelos de predição, que podem ser utilizadas em qualquer situação que envolva classificação de imagens. No entanto, cada modelo em questão possui sua peculiaridade, de acordo com o que pretende-se identificar.

As últimas camadas totalmente conectadas, com exceção da *Softmax*, mantém 4096 características referentes as classes de treinamento (ver na Figura 1). Essas características são uma espécie de melhores descrições espaciais da imagem, que são extraídas nas operações de convolução.

3.2. Ampliação da base dados com *Data Augmentation*

As operação de *Data Augmentation* são formas utilizadas para reduzir o *overfitting* em redes neurais profundas. Essa técnica cria vários exemplos sintéticos de um mesmo conjunto de dados, permitindo um melhor aprendizado que é oferecido com o aumento artificial de informações [Simard et al. 2003].

Em imagens, a indicação do uso de *Data Augmentation* é sugerida para bases pequenas com classes semelhantes. Essa operação permite um maior aproveitamento de informações que possam ser utilizadas para discriminar dados próximos [Parkhi et al. 2015]. A Figura 2 apresenta um exemplo de *augmentation* para imagens dermatoscópicas.



Figura 2. Exemplos de *augmentation* para imagens dermatoscópicas.

A argumentação em imagens é de extrema importância para o treinamento de Redes Neurais Convolucionais, já que as lesões melanômicas mantêm semelhanças significativas. Esse processo permite aproveitar o maior número de dados, através da aplicação de transformações no conjunto de treino. Além disso, esse conjunto de treino também é ajustado à arquitetura de convolução.

4. Experimentos e Resultados

A abordagem proposta nesse trabalho foi desenvolvida em MATLAB, utilizando a biblioteca MatConvNet [Vedaldi and Lenc 2015]. As redes Alexnet e VGG-F foram treinadas utilizando duas formas diferentes de treinamento nessa ferramenta, totalizando dois tipos de modelos para cada arquitetura. O primeiro tipo de treinamento não utiliza a operação de normalização em lotes (*Batch Normalization* - BN). Já no segundo, essa operação é realizada. A normalização em lotes ajusta o conjunto de treino de acordo com a média total de imagens, a média total de cores por canal e a covariância.

Os modelos de RNCs treinados nesse trabalho foram utilizados em partes, apenas as camadas totalmente conectadas (FC 6 e FC 7). Os dados extraídos dessas camadas serviram para a discriminação das lesões. Já a classificação desses dados foi realizada em duas classes (Melanoma e Não Melanoma) pela sugestão de classificadores implementados na ferramenta WEKA [Hall et al. 2009].

Os testes de classificação realizados nessa abordagem utilizaram o método estatístico *cross-validation 10-folds* para validação dos testes. Essa técnica particiona o conjunto de dados aleatoriamente em 10 subconjuntos de dados de mesmo tamanho, e um subconjunto é selecionado para a validação da classificação. Esse processo é realizado dez vezes e a estimativa produzida consiste na média de todos os resultados gerados.

4.1. Base de Imagens e Ampliação com *Data Argumentation*

Os experimentos realizados nesse trabalho utilizaram as bases PH² do Hospital Pedro Hispano (Matosinhos, Portugal) [Mendonça et al. 2013] que é composta por 200 imagens dermatoscópicas (160 de não melanoma e 40 melanoma) e a *International Skin Imaging Collaboration* (ISIC) [Gutman et al. 2016] que possui 900 imagens (173 melanoma e 887 não melanoma). Essas foram selecionadas por possuírem imagens diagnosticadas por dermatologistas.

Os testes realizados selecionaram 426 imagens (213 de melanoma e 213 de não melanoma) das bases. Os conjuntos utilizados foram definidos seguindo a proporção de 80 % para treino (340 imagens) e 20% para teste (86 imagens) que é sugerida por [Fleiss et al. 2013].

Os critérios utilizados para desenvolver as operações de *Data Augmentation* no conjunto de treino levou em consideração os estudos de [Chatfield et al. 2014] e [Parkhi et al. 2015], onde são aplicadas mudanças horizontais e verticais, rotações e translações, correções de cor, brilho e contraste, suavização, ruídos e recorte das regiões de interesse. No fim da execução dessa etapa foram produzidas 5.780 imagens (2.890 de melanoma e 2.890 de não melanoma) para treinamento das arquiteturas Alexnet e VGG-F.

4.2. Avaliação dos Resultados

A avaliação dos resultados é fundamental para definir o classificador que melhor representa um modelo de generalização do conhecimento. Em cada classificador é produzida uma matriz de confusão que exhibe as instâncias de dados diagnosticadas como corretas e incorretas. A partir disso, é possível determinar os cálculos que avaliam a sua eficácia.

As instâncias de dados podem ser classificadas em duas formas, denominadas de Verdadeiro Positivo (VP) e Falso Positivo (FP). Esses valores servem para determinar os parâmetros: acurácia (A), índice *kappa* (K), precisão (P), *recall* (R), *f-measure* (FM) e a área sobre a curva ROC (*Receiver Operating Characteristic*) [Codella et al. 2015].

A acurácia representa a porcentagem de casos classificados corretamente no conjunto de teste. Já o índice *kappa* mostra a concordância dos resultados obtidos e fornece uma ideia de quanto eles se afastam ou se aproximam do esperado, indicando a sua legitimidade. Os valores do índice *kappa* podem ser interpretados assim: < 0,4 (pobre) e > 0,75 (excelente). Quanto mais próximo de zero for o valor de *kappa*, maior a discordância dos dados [Fleiss et al. 2013].

A precisão indica as amostras classificadas corretamente como VP sobre o total de amostras (VP+FP), já o *recall* indica a proporção de amostras classificadas corretamente como positivas (VP) sobre todas as amostras efetivamente positivas. O *f-measure* é uma média ponderada de precisão e *recall*. Esse índice reflete a proporção de VP em relação às predições positivas (corretas e incorretas) somadas às amostras de classe positiva (efetivamente).

A área sobre a curva ROC exhibe o conflito entre a taxa de VP e FP de um classificador. Quanto maior a área sobre a curva ROC, mais preciso é o classificador. Essa métrica é utilizada para avaliar a capacidade discriminativa de um teste quanto a sua sensibilidade e especificidade [Fleiss et al. 2013].

4.3. Resultados de Classificação e Discussões

A partir dos métodos sugeridos, na Tabela 1 é apresentado os resultados obtidos para o classificador SVM, de acordo com as variações dos modelos de treinamento e seus respectivos dados extraídos das camadas FC 6 e FC 7, em todas as imagens do conjunto (426 imagens). Nela é possível observar uma acurácia de mais de 89% de instâncias classificadas corretamente, um índice *kappa* maior que 0,7, *recall* e precisão maior que 0,8. Esse resultado foi dado pela descrição da camada FC 7, com a operação de normalização, utilizando arquitetura VGG-F. Os resultados obtidos com a arquitetura Alexnet não foram satisfatórios.

Tabela 1. Resultados obtidos com o classificador SVM.

RNC	BN	FC	A	K	Taxa VP	Taxa FP	P	R	FM	Área ROC	Matriz de Confusão			
											Melanoma (a)		NoMelanoma (b)	
											(a)	(b)	(a)	(b)
Alexnet	sim	6	71,3	0,427	0,714	0,286	0,716	0,714	0,713	0,653	163	50	72	141
		7	67,7	0,352	0,676	0,324	0,682	0,676	0,673	0,676	124	89	49	164
	não	6	81,9	0,638	0,819	0,181	0,821	0,819	0,819	0,819	183	30	47	166
		7	75,11	0,502	0,751	0,249	0,761	0,751	0,749	0,751	181	32	74	139
VGG-F	sim	6	82,6	0,652	0,826	0,174	0,841	0,826	0,824	0,826	198	15	59	154
		7	89,9	0,798	0,899	0,101	0,899	0,899	0,899	0,876	191	22	21	192
	não	6	70,18	0,403	0,702	0,298	0,712	0,702	0,698	0,702	173	40	87	126
		7	83,1	0,662	0,831	0,169	0,836	0,831	0,830	0,831	190	23	49	164

Na Tabela 2 é apresentado os resultados obtidos com o classificador KNN. Nessa fase de teste, a mesma camada citada anteriormente obteve uma acurácia de mais de 91% na identificação de instâncias corretas, um índice *kappa* maior que 0,8, *recall* e precisão maiores que 0,9. Nesse mesmo cenário, a Alexnet obteve seu primeiro resultado satisfatório com a camada FC 6, implementando a operação de normalização. Isso fez com que esse modelo atingisse uma acurácia de 87,5%, um índice *kappa* maior que 0,7 *recall* e precisão maior que 0,8.

Tabela 2. Resultados obtidos com o classificador KNN.

RNC	BN	FC	A	K	Taxa VP	Taxa FP	P	R	FM	Área ROC	Matriz de Confusão			
											Melanoma (a)		NoMelanoma (b)	
											(a)	(b)	(a)	(b)
Alexnet	sim	6	87,5	0,751	0,876	0,124	0,876	0,876	0,876	0,891	188	25	28	185
		7	85,4	0,708	0,854	0,146	0,856	0,854	0,854	0,875	190	23	29	174
	não	6	74,41	0,488	0,744	0,256	0,757	0,744	0,741	0,750	135	78	31	182
		7	71,59	0,431	0,716	0,284	0,728	0,716	0,712	0,713	128	85	36	177
VGG-F	sim	6	86,8	0,737	0,869	0,131	0,869	0,869	0,869	0,860	183	30	26	187
		7	91,5	0,831	0,915	0,085	0,916	0,915	0,915	0,943	190	23	13	200
	não	6	74,41	0,744	0,256	0,758	0,758	0,744	0,741	0,739	134	79	30	183
		7	73,0	0,460	0,730	0,270	0,743	0,730	0,726	0,728	131	82	33	180

Por fim, na Tabela 3 é apresentado os resultados obtidos com o classificador MLP. Com este classificador a abordagem Alexnet obteve o melhor resultado sem a operação de normalização, utilizando a camada FC 6. Esse teste atingiu resultados de acurácia de 89,6% e índice *kappa* maior que 0,7. Já a VGG-F, com a normalização utilizando a camada FC 7, obteve uma acurácia de 85,3%, um índice *kappa* maior que 0,7, *recall* igual a 0,9 e precisão maior que 0,8.

Tabela 3. Resultados obtidos com o classificador MLP.

RNC	BN	FC	A	K	Taxa VP	Taxa FP	P	R	FM	Área ROC	Matriz de Confusão			
											Melanoma (a)		NoMelanoma (b)	
											(a)	(b)	(a)	(b)
Alexnet	sim	6	84,7	0,694	0,847	0,153	0,847	0,847	0,847	0,862	180	33	32	181
		7	85,6	0,713	0,857	0,143	0,859	0,857	0,857	0,932	174	39	22	191
	não	6	89,6	0,793	0,897	0,103	0,900	0,897	0,896	0,898	201	12	32	181
		7	80,0	0,600	0,800	0,200	0,801	0,800	0,800	0,901	143	40	45	168
VGG-F	sim	6	84,5	0,690	0,845	0,155	0,845	0,845	0,845	0,875	181	32	34	179
		7	85,3	0,713	0,857	0,143	0,857	0,857	0,857	0,881	187	26	35	178
	não	6	70,18	0,403	0,702	0,298	0,712	0,702	0,698	0,702	173	40	87	126
		7	73,0	0,460	0,730	0,270	0,743	0,730	0,726	0,728	131	82	33	180

Os valores de precisão e *recall* obtidos nos melhores testes de classificação foram maiores de 0,8, como visto nas Tabelas 1, 2 e 3, e indicam eficiência na definição de Verdadeiros Positivos no conjunto de amostras. No entanto, o classificador KNN obteve o melhor resultado entre todos, com os dados da camada FC 7 na arquitetura VGG-F, utilizando a normalização. Nesse caso, os valores de *recall* e precisão foram superiores a 0,9.

Ao analisar as matrizes de confusão para as três classificações de dados, notou-se que as instâncias que indicam a ausência do melanoma tem mais chances de serem classificadas corretamente em relação às instâncias que correspondem à presença do melanoma.

5. Conclusões e Trabalhos Futuros

Neste trabalho foi apresentada uma abordagem de classificação de imagens dermatoscópicas utilizando arquiteturas de RNCs treinadas com esse tipo de imagem. Em seguida, esses modelos foram utilizados para extrair características espaciais. Os dados das últimas camadas foram utilizados como descritores, e classificados com algoritmos tradicionais. Os resultados obtidos comprovam a eficácia da abordagem desenvolvida, onde a arquitetura VGG-F com a normalização, utilizando a camada FC 7, manteve os melhores dados do conjunto de imagens. Esses foram melhores discriminados pelo classificador KNN, com uma acurácia de 91,5%, índice *kappa* de 0,83, *recall* de 0,91 e precisão de 0,91.

Em trabalhos futuros, novos treinamentos em outras arquiteturas RNCs deverão ser realizados. Pretende-se utilizar um maior conjunto de imagens para verificar a eficácia da utilização de aprendizado profundo na classificação do melanoma.

Referências

- Chatfield, K., Simonyan, K., Vedaldi, A., and Zisserman, A. (2014). Return of the devil in the details: Delving deep into convolutional nets. *arXiv preprint arXiv:1405.3531*.
- Codella, N., Cai, J., Abedini, M., Garnavi, R., Halpern, A., and Smith, J. R. (2015). Deep learning, sparse coding, and svm for melanoma recognition in dermoscopy images. In *Machine Learning in Medical Imaging*, pages 118–126. Springer.
- Fleiss, J. L., Levin, B., and Paik, M. C. (2013). *Statistical methods for rates and proportions*. John Wiley & Sons.
- Gutman, D., Codella, N. C., Celebi, E., Helba, B., Marchetti, M., Mishra, N., and Halpern, A. (2016). Skin lesion analysis toward melanoma detection: A challenge at the international symposium on biomedical imaging (isbi) 2016, hosted by the international skin imaging collaboration (isic). *arXiv preprint arXiv:1605.01397*.

- Hall, M., Frank, E., Holmes, G., Pfahringer, B., Reutemann, P., and Witten, I. H. (2009). The weka data mining software: an update. *ACM SIGKDD explorations newsletter*, 11(1):10–18.
- INCA (2016). Instituto nacional do câncer - estimativas do câncer para o ano de 2016. [urlhttp://www.inca.gov.br/estimativa/2016/](http://www.inca.gov.br/estimativa/2016/). Acessado em 01-05-2016.
- Kawahara, J., BenTaieb, A., and Hamarneh, G. (2016). Deep features to classify skin lesions. In *Biomedical Imaging (ISBI), 2016 IEEE 13th International Symposium on*, pages 1397–1400. IEEE.
- Krizhevsky, A., Sutskever, I., and Hinton, G. E. (2012). Imagenet classification with deep convolutional neural networks. In *Advances in neural information processing systems*, pages 1097–1105.
- Maglogiannis, I. and Doukas, C. N. (2009). Overview of advanced computer vision systems for skin lesions characterization. *Information Technology in Biomedicine, IEEE Transactions on*, 13(5):721–733.
- Majtner, T., Yildirim-Yayilgan, S., and Hardeberg, J. Y. (2016). Combining deep learning and hand-crafted features for skin lesion classification. In *Image Processing Theory Tools and Applications (IPTA), 2016 6th International Conference on*, pages 1–6. IEEE.
- Mendonça, T., Ferreira, P. M., Marques, J. S., Marcal, A. R., and Rozeira, J. (2013). Ph 2-a dermoscopic image database for research and benchmarking. In *Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2013 35th Annual International Conference of the IEEE*, pages 5437–5440. IEEE.
- Parkhi, O. M., Vedaldi, A., and Zisserman, A. (2015). Deep face recognition. In *BMVC*, volume 1, page 6.
- Russakovsky, O., Deng, J., Su, H., Krause, J., Satheesh, S., Ma, S., Huang, Z., Karpathy, A., Khosla, A., Bernstein, M., Berg, A. C., and Fei-Fei, L. (2015). ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge. *International Journal of Computer Vision (IJCV)*, 115(3):211–252.
- Shi, Z. and He, L. (2011). Current status and future potential of neural networks used for medical image processing. *Journal of multimedia*, 6(3):244–251.
- Simard, P. Y., Steinkraus, D., and Platt, J. C. (2003). Best practices for convolutional neural networks applied to visual document analysis. In *Proceedings of the Seventh International Conference on Document Analysis and Recognition - Volume 2, ICDAR '03*, pages 958–, Washington, DC, USA. IEEE Computer Society.
- Simonyan, K. and Zisserman, A. (2014). Very deep convolutional networks for large-scale image recognition. *arXiv preprint arXiv:1409.1556*.
- Vedaldi, A. and Lenc, K. (2015). Matconvnet: Convolutional neural networks for matlab. In *Proceedings of the 23rd ACM international conference on Multimedia*, pages 689–692. ACM.

Um Sistema de Diagnóstico de Leucemia utilizando CNN's Pré-treinadas e um Comitê de Classificadores

Luis H. S. Vogado, Rodrigo M. S. Veras, Alan R. Andrade, Luís G. T. Santos,
Kelson R. T. Aires, Vinicius P. Machado

Departamento de Computação,
Universidade Federal do Piauí, Teresina-PI

lhvogado@gmail.com, rveras@ufpi.edu.br, alanribeiroandrade@gmail.com,

luisguilherme.ufpi@gmail.com, {kelson, vinicius}@ufpi.edu.br

Abstract. *Leukemia is among the diseases that afflict more young people and adults, thus causing an early death. To assist the experts in diagnosing this disease, there are computer-aid systems. These systems prevent diagnosis from being affected by variables such as experience and the tiredness of the specialist, collaborating with a prescription medication and avoiding inappropriate treatment. In this work, a new methodology for the creation of a system of diagnosis of leukemia with the use of CNN's, PCA and an ensemble of classifiers. The ALL-IDB1 database was used in conducting the experiments and obtained 98.14% accuracy, overlapping the results presented in the literature.*

Resumo. *A leucemia está entre as doenças que mais afligem os jovens e adultos, causando assim uma morte precoce. Para auxiliar os especialistas no diagnóstico dessa doença, existem sistemas de auxílio por computador. Estes evitam que os diagnósticos sofram com variáveis como experiência e o cansaço do especialista, colaborando com uma prescrição de medicamentos mais adequada e evitando um tratamento inadequado. Neste trabalho, é apresentada uma nova metodologia para a criação de um sistema de diagnóstico da leucemia com o uso de CNN's, PCA e um comitê de classificadores. A base de dados ALL-IDB1 foi utilizada na realização dos experimentos e obtivemos 98,14% de acurácia, sobrepondo os resultados apresentados na literatura.*

1. Introdução

O diagnóstico é um importante processo realizado por médicos que consiste em determinar a presença ou não de doenças baseando-se em um conjunto de dados. Estes dados são primordiais para a identificação de doenças e podem ser compostos por sinais, sintomas, imagens, exames entre outros. Um diagnóstico errôneo, causado por um exame mal sucedido, pode ocasionar efeitos colaterais ao paciente, devido a uma possível prescrição de medicamentos inadequados para o tratamento. Para auxiliar os especialistas nesta etapa crucial, existem sistemas de baixo custo que analisam e processam os dados, provendo um auxílio ao diagnóstico.

Ao longo dos anos, foram propostos múltiplos sistemas de auxílio médico. Doenças como glaucoma [Chen et al. 2015], câncer de pele [Kawahara and Hamarneh 2016],

câncer de mama [Wang et al. 2016] e leucemia [Madhukar et al. 2014] foram abordadas nesses sistemas. O diagnóstico precoce dessas doenças é fundamental para o seu tratamento. Este por sua vez pode ser dispendioso e complexo, que mesmo em alguns casos, não curando o paciente, prolonga a sua vida.

Dentre as doenças abordadas nos sistemas de auxílio por computador, a leucemia é a que possui maior número de vítimas fatais entre adolescentes e crianças, sendo que o risco de desenvolvê-la é maior em crianças de até 5 anos. A leucemia é um câncer que se origina na medula óssea e é caracterizado pela proliferação anormal de glóbulos brancos (Figura 1). O diagnóstico da leucemia pode ser feito por meio de várias análises e exames, dentre eles o exame físico, teste de sangue, hemograma, mielograma, punção lombar e biópsia na medula óssea. A realização do exame que utiliza a análise microscópica é a maneira mais econômica para a triagem inicial de pacientes com leucemia. Esse tipo de exame é feito manualmente o que acaba gerando cansaço e fadiga no operador, justificando a necessidade de um sistema de auxílio.

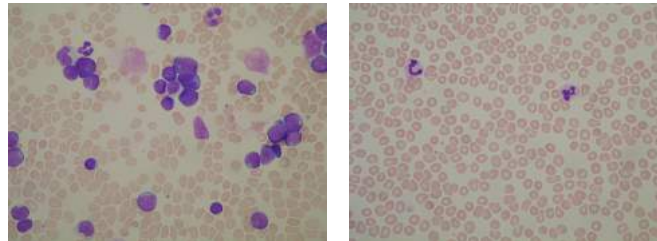


Figura 1. Exemplos de lâminas de sangue com leucemia(esquerda) e sem(direita). Ambas pertencentes a base ALL-IDB 1.

Parte desses sistemas são desenvolvidos com a utilização de técnicas de processamento de imagens e inteligência computacional e geralmente possuem etapas de pré-processamento, segmentação, extração de características e classificação. As etapas que melhor definem o diagnóstico realizado por esses sistemas são a extração de características e a classificação. No entanto, para conseguir mais robustez, essas etapas acabam dependendo de suas predecessoras, ou seja, uma boa segmentação pode prover uma boa extração e conseqüentemente uma boa classificação.

Há alguns anos, pesquisadores que trabalham com inteligência artificial utilizam aprendizado profundo através das Redes Neurais Convolucionais (CNNs - *Convolutional Neural Networks*), possibilitando a criação de poderosos sistemas computacionais de auxílio médico. O poder dessas redes é aplicado em diversas áreas, como o processamento de sinais, linguagem natural, imagens e vídeo. Contudo, são necessárias máquinas com grande capacidade de processamento e uma enorme quantidade de dados para treiná-las e adequá-las a tarefa desejada.

A abordagem proposta neste trabalho descreve um sistema de diagnóstico da leucemia que não necessita da etapa de segmentação (uma etapa comumente apresentada em trabalhos no estado da arte). Este trabalho consiste em extrair diretamente as características da imagem com um descritor baseado em aprendizado profundo e classificá-las. Na

etapa de extração, utilizamos as CNN's pré-treinadas AlexNet, VggNet e CaffeNet. Para a classificação, propomos um comitê com três classificadores, o *Support Vector Machine* (SVM), o *Multilayer Perceptron* (MLP) e o *Random Forest* (RF). Procuramos avaliar a performance do sistema em uma base com lâminas de sangue contendo diversos núcleos. Os resultados obtidos são comparados com outros sistemas existentes no estado da arte.

O restante do texto está dividido da seguinte forma: apresentamos os trabalhos relacionados na Seção 2, e a metodologia proposta na Seção 3. Na Seção 4 descrevemos as bases de imagens utilizadas nos testes e discutimos os resultados obtidos. Finalmente, as conclusões e perspectivas para trabalhos futuros na Seção 5.

2. Trabalhos Relacionados

Diversos sistemas utilizados para auxiliar no diagnóstico da leucemia foram propostos ao longo do tempo. Dentre estes, alguns apresentaram soluções para a classificação dos dois tipos de leucemia mais comuns, são elas: a leucemia mieloide aguda (LMA) e a leucemia linfóide aguda (LLA), utilizando imagens de lâminas de sangue.

No trabalho proposto por Madhukar et al. [Madhukar et al. 2012], os autores propuseram a criação de um sistema para detectar LLA utilizando uma base de dados com apenas um núcleo por imagem. O pré-processamento aplicado consiste na conversão da imagem no sistema de cor RGB para o L^*a^*b , um sistema que é geralmente empregado no agrupamento de imagens. Na etapa de segmentação, o algoritmo não-supervisionado *K-means* é aplicado nos canais a e b da imagem, sendo o número de grupos igual a três. Na extração de características, um conjunto de descritores foi utilizado, sendo eles: características de forma, *Gray Level Co-occurrence Matrix* (GLCM) e dimensão Fractal. Na realização dos testes, foram utilizadas 98 imagens de lâminas de sangue da base ALL-IDB1 [Labati et al. 2011]. A classificação foi realizada com o *Support Vector Machine* e três técnicas para a validação cruzada dos dados: *k-fold*, *Hould-Out* e *Leave-One-Out*. Com os dados analisados, os autores concluíram que a técnica que obteve a melhor acurácia foi o *Leave-One-Out* com 93,50%.

Vincent et al. [Vincent et al. 2015] propuseram a criação de um sistema que utiliza redes neurais como classificador. A execução deste método proposto consiste em um pré-processamento inicial com agrupamento baseado no sistema de cor L^*a^*b e filtros morfológicos. A etapa de classificação é composta por dois passos, o primeiro é a extração de características, sendo o vetor formado por um conjunto de cinco tipos de características, são elas: textura (GLCM com a entropia), contraste, correlação, energia e o *Hausdorff Dimension*. O *Principal Component Analysis* (PCA) é aplicado na busca das melhores características e então o vetor é classificado pela rede neural. O resultado provido pelo classificador é a diferenciação das células entre normais e anormais. Estas que servirão de entrada para o segundo passo, a classificação foi realizada com mais um conjunto de características, que agora envolvem a geometria das células. As cinco características escolhidas neste passos foram: área da célula, do núcleo e do citoplasma, a relação núcleo/citoplasma e núcleo/célula. O PCA foi aplicado novamente com o mesmo propósito de reduzir as características do vetor. A base ALL-IDB1 foi utilizada nos testes e os resultados obtidos foram de 97,70% de acurácia para 100 imagens.

No trabalho de Patel e Mishra [Patel and Mishra 2015], os autores apresentaram um sistema automático para a detecção de leucemia em imagens microscópicas de san-

gue. O trabalho proposto contém as fases de pré-processamento, segmentação, extração de características e classificação. Na primeira fase, filtros foram utilizados para remover possíveis ruídos na imagem, para assim facilitar a segmentação da mesma. Os autores, diferente de outros trabalhos do estado da arte, não fazem a mudança no sistema de cor, permanecendo assim com o RGB. Na etapa de segmentação, a imagem é convertida para tons de cinza e para agrupar, o *K-means* e o algoritmo de Zack [Zack et al. 1977] são aplicados. Na extração, as características de cor, geometria, textura e estatísticas foram utilizadas. A base de imagens utilizada, assim como nos trabalhos apresentados anteriormente, é a ALL-IDB1, no entanto, apenas 27 imagens foram utilizadas nos testes. Com o SVM, foram obtidos 93,57% de acurácia.

O sistema proposto por Agaian et al. [Agaian et al. 2016] apresentou uma abordagem para a classificação de imagens de sangue com múltiplos núcleos. Os autores aplicaram a conversão dos sistemas de cor do RGB para o L^*a^*b e realizaram o agrupamento com o *K-means*. As características selecionadas foram as de forma, cor, GLCM, *Haar wavelet*, dimensão Fractal e o SVM foi utilizado como classificador. Os autores enfatizaram que todas as taxas de acerto apresentadas no trabalho estão acima de 94% de acurácia. A base ALL-IDB1 é utilizada com 98 imagens.

Como foi apresentado nessa Seção, muitos métodos do estado da arte utilizam descritores semelhantes para realizar a distinção dos lâminas de sangue. No entanto, em pesquisas mais recentes, os autores estão utilizando técnicas de *Deep Learning* como descritores [Castelluccio et al. 2015] ou classificadores [Wang et al. 2016, Kumar et al. 2016], proporcionando a utilização de poderosas redes nesses sistemas de auxílio. Observamos que nos trabalhos mais atuais, essas técnicas estão sendo empregadas nos problemas de diagnóstico, mas não encontram-se trabalhos com leucemia. No nosso trabalho, propomos a utilização dessas técnicas como descritores, procurando assim avaliar a imagem como um todo, levando em conta todos os elementos pertencentes a ela, descartando a etapa de segmentação do núcleo.

3. Método Proposto

O método proposto neste trabalho tem como objetivo diagnosticar a leucemia em imagens de sangue. Seguindo o fluxograma apresentado na Figura 2, observa-se que a entrada do sistema é uma imagem sem nenhum pré-processamento ou segmentação, diferente dos métodos propostos no estado da arte. A partir da imagem de entrada, as CNN's são utilizadas para descrevê-la, e os vetores são concatenados e reduzidos. Para a etapa de classificação, um comitê é proposto neste trabalho, trazendo mais confiabilidade aos resultados e classificando assim as imagens em doentes ou não. Estas etapas são melhor descritas no decorrer do texto, justificando a utilização de cada componente no fluxograma geral da abordagem.

3.1. Extração de características utilizando CNN's

O processo de extração de características consiste na representação de um conjunto redundante de dados, por meio de características únicas que o façam se diferenciar de outros conjuntos. Existem inúmeras características que podem ser extraídas, dentre elas, por exemplo: cor, forma e textura. Dentre os diversos descritores propostos no estado da arte, a utilização de CNN's neste processo de extração vem ganhando destaque.

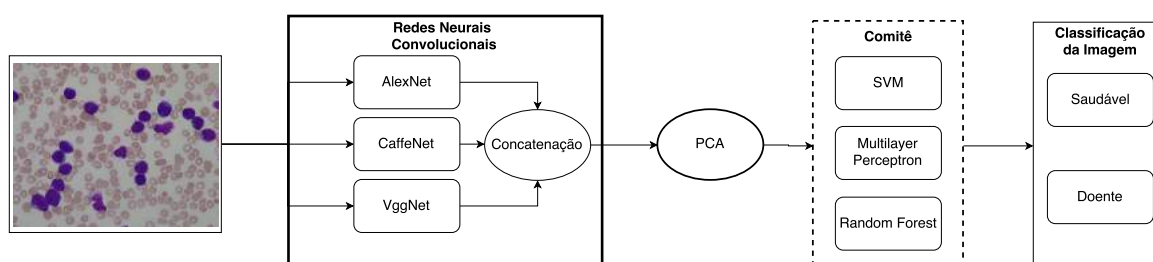


Figura 2. Fluxograma do método proposto.

No estado da arte, os autores apresentam duas formas de realizar o processo de aprendizagem de uma base de imagens com CNN's: a primeira é a forma usual, realizando o treinamento com um grande conjunto de dados, a segunda forma é a transferência de aprendizado, utilizando redes pré-treinadas.

No nosso trabalho, utilizamos a técnica de transferência de aprendizado [Shin et al. 2016] onde a CNN já é treinada em uma grande base natural de imagens fazendo com que assimile características genéricas, facilitando a sua aplicabilidade em pequenas bases de dados. Essa técnica pode ser utilizada em diversos tipos de tarefas, como por exemplo na extração de características de imagens de faces, objetos e doenças. O sucesso ou não dos resultados dependerá da similaridade da base utilizada para se extrair as características com a base de treinamento.

Duas formas de transferências são apresentadas no trabalho de Castelluccio et al. [Castelluccio et al. 2015], a primeira consiste no *fine-tune* da rede, onde sua estrutura é modificada, congelando-se as camadas de alto nível. A segunda é a extração da penúltima camada totalmente conectada da rede, obtida a partir da imagem de entrada da rede e utiliza-se outro classificador no processo de classificação. Esta sendo a forma de transferência utilizada neste trabalho, como pode ser observado no fluxograma da Figura 2.

As CNN's que utilizamos são pré-treinadas na base natural de imagens *ImageNet*¹. Três arquiteturas propostas recentemente foram utilizadas na construção da abordagem, são elas:

AlexNet: É uma arquitetura desenvolvida para a competição LSVRC-2010 e assim realizar o treinamento e a classificação da base de imagens *ImageNet* [Krizhevsky et al. 2012]. Compreende oito camadas que precisam ser treinadas, cinco camadas convolucionais seguidas de três camadas totalmente conectadas, bem como camadas de *pooling*.

CaffeNet: A arquitetura CaffeNet foi desenvolvida no *Berkeley Vision and Learning Center* (BVLC), sendo considerada uma das mais populares no aprendizado profundo [Jia et al. 2014]. Compreende 5 camadas convolucionais, cada uma seguida por uma camada de *pooling*, e 3 camadas totalmente conectadas.

VGGNet: A última das arquiteturas utilizadas na abordagem é a VGGNet, proposta em 2014 por [Chatfield et al. 2014], ela foi projetada para aumentar a profundidade das redes. Sendo considerada a mais difícil de se treinar, a rede requer uma maior me-

¹Disponível em <http://www.vlfeat.org/matconvnet/>

mória e tempo de execução do que a AlexNet. A rede contém 8 camadas de aprendizado, sendo 5 convolucionais e 3 totalmente conectadas.

Esses três modelos possuem arquiteturas semelhantes e a principal diferença entre essas é o tamanho dos filtros utilizados nas camadas convolucionais e na quantidade de neurônios das camadas totalmente conectadas. A quantidade de elementos da camada retirada da rede é de 4096, sendo este o tamanho do vetor inicial. Com a grande quantidade de características, fez-se necessária a utilização de uma redução ou de uma seleção desses atributos.

3.2. Seleção de características

O PCA é uma técnica para a redução de dimensionalidade em um vetor de características. Foi desenvolvida em 1991 e tem como principal característica, reduzir um grande conjunto de dados procurando manter a variação presente neste conjunto, ou seja, nenhuma redundância de dados é encontrada. Esta redução é conseguida através da subtração da média de cada linha da matriz de características e o resultado, subtraímos de cada elemento da linha. A partir do conjunto de dados, a matriz de covariância é retirada e seus autovalores e autovetores são calculados, projetando os dados originais em um vetor de características de menor dimensão.

A aplicação do PCA é feita em diversos problemas, dentre eles, temos o reconhecimento facial, verificação de passaportes, registros médicos, etc. Em [Kumar et al. 2016], os autores utilizam o PCA com uma taxa de 90% na variação dos dados. Optamos por utilizá-lo no sistema apresentado neste trabalho com a mesma taxa de variação.

3.3. Comitê

A utilização de comitês no aprendizado de máquina é crescente há alguns anos. Formado por diversos classificadores, essa técnica de classificação é considerada mais eficiente que a utilização de apenas um classificador, pois proporciona uma maior confiabilidade nos resultados. Trabalhos apresentados na literatura ([Kumar et al. 2016, Mohapatra et al. 2014]) difundem o uso desta técnica em sistemas de auxílio por computador.

A escolha de diferentes classificadores, com propriedades distintas e sua combinação, corroboram com a eficiência do comitê. No nosso trabalho, foram selecionados três classificadores, baseados em testes e em trabalhos da literatura, são eles: *Support Vector Machine* (SVM), *Multilayer Perceptron* (MLP) e *Random Forest* (RF).

Existem diferentes formas de se combinar classificadores, geralmente usa-se a saída individual de cada um neste processo, isso minimiza a ocorrência de decisões errôneas. Cada imagem é classificada como doente ou não por cada classificador, a partir do resultado individual das imagens da base, é possível fazer a combinação dos resultados. Um dos meios mais utilizados na combinação é o voto majoritário, ele avalia a saída de cada classificador e se a maioria classificar a imagem como uma das classes, então esta será a sua classificação final. Além do voto majoritário, existem outras regras como o voto majoritário ponderado, contagem de borda, média e produto das probabilidades e a mediana [Jr. 2011].

No nosso trabalho, utilizamos a regra do voto majoritário e para realizar os treinamentos e testes do conjunto de dados, optamos pela utilização da validação cruzada

k-fold, sendo o valor de *k* igual a 10. Também são utilizadas quatro métricas disponíveis na literatura, são elas: precisão, sensibilidade, acurácia, *recall* e o Índice Kappa. A implementação da etapa de extração de características do método foi feita no MATLAB, enquanto a etapa de redução e classificação das características foram feitas com a ferramenta WEKA.

4. Experimentos

4.1. Base de Imagens

Vários autores testaram seus sistemas com apenas uma base de dados, ou então nas suas próprias bases. No entanto, um dos desafios no processamento de imagens de sangue é a habilidade de diagnosticar a doença mesmo em bases com características distintas.

Proposta em [Labati et al. 2011], a ALL-IDB é uma base que contém duas versões distintas, denominadas de ALL-IDB1 e ALL-IDB2. Todas as imagens possuem a resolução nativa de 2592×1994 *pixels*, e a sua captura foi feita com uma câmera *PowerShot G5*.

A ALL-IDB1 é composta por 108 imagens (59 saudáveis e 49 doentes) de lâminas de sangue, que possuem múltiplos leucócitos por imagem. Os linfoblastos desse conjunto foram demarcados por especialistas e são ao todo 510 elementos. Já a ALL-IDB2 possui 260 imagens e cada uma contém pelo menos um leucócito ou linfoblasto. Essa versão foi criada para testes em sistemas de classificação, enquanto a primeira tem como objetivo, testes com segmentação. Neste trabalho utilizamos a ALL-IDB1, considerando as imagens com todos os leucócitos.

4.2. Resultados e Discussão

Para validarmos o sistema proposto, foram realizadas diversas comparações, sendo elas, com a saída de cada arquitetura, com uma variação do método proposto acrescentando uma etapa de segmentação e com outros sistemas propostos no estado da arte. Nesta última comparação, escolhemos o método proposto por [Vogado et al. 2016]. Neste trabalho, os autores apresentaram um método robusto, com testes realizados em bases com características distintas e que em seus resultados, demonstraram superioridade diante de outros trabalhos do estado da arte.

Na Tabela 1 podemos observar os resultados da abordagem proposta comparados com as saídas de cada arquitetura. Nota-se que a concatenação das redes obteve uma melhor taxa de acerto se comparada com os resultados das arquiteturas separadas. Isso se deve ao fato de que a saída de cada rede possui um conjunto de dados que as caracterizam de uma forma única. O motivo por trás da concatenação dessas características foi para aproveitá-las de forma, para assim melhor representar os dados da imagem. No entanto, ao concatenar, o tamanho do vetor de atributos é multiplicado por três. Sendo assim, foi realizada a redução do vetor de características e conseqüentemente eliminando os atributos menos relevantes. Podemos observar que a saída das arquiteturas separadas também proporcionam um excelente índice Kappa e uma alta taxa de precisão e acurácia, destacando-se os modelos AlexNet e VggNet. Sendo que esta última atingiu taxas equivalentes a saída concatenada, sendo superada apenas no índice Kappa.

Outra comparação observada na mesma tabela, é entre a abordagem com e sem segmentação, onde esta última alcançou resultados superiores. Acreditamos que isso se

Tabela 1. Resultados do desempenho das arquiteturas na base ALL-IDB 1 com e sem segmentação.

	P(%)	R(%)	A(%)	K
Com segmentação				
AlexNet	96,40	96,30	96,29	0,9255
CaffeNet	94,40	94,40	94,44	0,8879
VggNet	96,40	96,30	96,29	0,9255
AlexNet + CaffeNet + VggNet	97,40	97,20	97,22	0,9443
Sem segmentação				
AlexNet	97,20	97,20	97,22	0,9439
CaffeNet	94,70	94,40	94,44	0,8871
VggNet	98,20	98,10	98,14	0,9622
AlexNet + CaffeNet + VggNet	98,20	98,10	98,14	0,9625

deve a outros elementos existentes na imagem, como o citoplasma, as hemácias e o fundo. Com a presença destes, a rede consegue assimilar mais informações relevantes durante a extração de características e conseqüentemente auxiliando na alta taxa de acerto.

Os trabalhos da literatura que lidam com sistemas de classificação de leucemia com mais de um núcleo, evidenciam que muitos trabalhos buscam classificar apenas as lâminas com um núcleo, enquanto a classificação com vários núcleos é ignorada. No nosso trabalho, comparamos os resultados obtidos pelo sistema proposto com outros trabalhos que buscam realizar esse tipo de classificação (Tabela 2).

Tabela 2. Comparação da acurácia com outros métodos da literatura (ALL-IDB1).

Trabalho	Quantidade de imagens	A(%)
[Madhukar et al. 2012]	98	93,50
[Vincent et al. 2015]	100	97,70
[Patel and Mishra 2015]	27	93,75
[Agaian et al. 2016]	98	94,00*
Método proposto	108	98,14

No trabalho proposto por Agaian et al. [Agaian et al. 2016], os autores não apresentam o valor exato da acurácia do seu sistema, apenas enfatizam que foi superior a 94% de acerto. Em outro com os mesmos autores ([Madhukar et al. 2012]), o resultado obtido foi de 93,50%, sendo utilizada a mesma base de imagens. O trabalho de Patel e Mishra [Patel and Mishra 2015] atingiu 93,75% de acurácia, sendo superior ao de Madhukar et al. [Madhukar et al. 2012], no entanto, a menor quantidade de imagens torna o sistema não tão confiável se comparado com outros trabalhos com uma base maior. Já o sistema descrito neste trabalho utiliza uma quantidade de imagens maior que os outros, proporcionando uma maior confiabilidade nos resultados e apresenta a acurácia mais alta dentre estes, com 98,17%, validando assim a abordagem para a base ALL-IDB1.

Na construção do comitê, diversos classificadores foram testados empiricamente e dentre estes, três foram escolhidos por apresentarem melhores resultados. Acredita-se que as taxas obtidas podem ser melhoradas, uma vez que o método de transferência de aprendizado não consegue assimilar completamente as características das imagens de sangue, já que as redes foram treinadas para extrair características genéricas e não específicas da doença. Dentre os três modelos de arquiteturas utilizados, a AlexNet e a VggNet atingiram valores próximos, sendo que este resultado indica que redes mais rasas, como

AlexNet, aprendem características mais gerais que são aplicáveis a uma variedade mais ampla de imagens. Os recursos aprendidos da AlexNet são menos otimizados semanticamente para imagens naturais, são mais generalizáveis e adaptáveis quando transferidos para o domínio da imagem médica. A abordagem proposta utilizando apenas a saída da VggNet obteve resultados semelhantes a saída concatenada, observando que esta sem a etapa de segmentação atingiu resultados iguais. Realizado um estudo na relevância das características do vetor concatenado, observou-se que os atributos provenientes da VggNet são os que possuem o maior ganho de informação. No entanto, deve-se atentar que nem sempre os atributos desta rede terão esse ganho considerável.

5. Conclusão

Como a extração de características e a classificação são considerados os passos mais importantes no diagnóstico automático de diferentes sistemas computacionais, constatou-se que diversos métodos da literatura apresentaram resultados promissores. No entanto, necessitam de maior robustez e de uma maior quantidade de imagens para obter uma melhor desempenho e confiabilidade nos seus resultados. O trabalho apresentado neste artigo descreve um novo sistema para o diagnóstico de leucemia em imagens de sangue com a utilização das Redes Neurais Convolucionais e de um comitê com três classificadores. Baseando-se nos resultados obtidos pela abordagem, é possível validar a sua robustez perante outros trabalhos do estado da arte com uma acurácia de 98,14%.

Como trabalhos futuros, propõe-se a utilização de um ajuste fino na rede, para que seja possível melhorar a abstração de informações da leucemia. Apesar da abordagem atual não requerer uma grande quantidade de processamento, ela ainda não representa o poder máximo das CNN's. Além do melhoramento do sistema, pretende-se utilizar novas bases de imagens, com uma maior quantidade de dados, para que esse sistema possa ser validado e utilizado no cotidiano, ajudando os médicos e os pacientes no diagnóstico dessa doença.

Referências

- Agaian, S., Madhukar, M., and Chronopoulos, A. T. (2016). A new acute leukaemia-automated classification system. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering: Imaging & Visualization*, pages 1–12.
- Castelluccio, M., Poggi, G., Sansone, C., and Verdoliva, L. (2015). Land use classification in remote sensing images by convolutional neural networks. *CoRR*, abs/1508.00092.
- Chatfield, K., Simonyan, K., Vedaldi, A., and Zisserman, A. (2014). Return of the devil in the details: Delving deep into convolutional nets. In *British Machine Vision Conference*.
- Chen, X., Xu, Y., Wong, D. W. K., Wong, T. Y., and Liu, J. (2015). Glaucoma detection based on deep convolutional neural network. In *2015 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, volume 37, pages 715–718.
- Jia, Y., Shelhamer, E., Donahue, J., Karayev, S., Long, J., Girshick, R., Guadarrama, S., and Darrell, T. (2014). Caffe: Convolutional architecture for fast feature embedding. In *Proceedings of the 22Nd ACM International Conference on Multimedia, MM '14*, pages 675–678, New York, NY, USA. ACM.

- Jr., M. P. P. (2011). Combining classifiers: From the creation of ensembles to the decision fusion. In *SIBGRAPI Tutorials*, pages 1–10. IEEE Computer Society.
- Kawahara, J. and Hamarneh, G. (2016). *Multi-resolution-Tract CNN with Hybrid Pre-trained and Skin-Lesion Trained Layers*. Springer International Publishing, Cham.
- Krizhevsky, A., Sutskever, I., and Hinton, G. E. (2012). Imagenet classification with deep convolutional neural networks. In Pereira, F., Burges, C. J. C., Bottou, L., and Weinberger, K. Q., editors, *Advances in Neural Information Processing Systems 25*, pages 1097–1105. Curran Associates, Inc.
- Kumar, A., Kim, J., Lyndon, D., Fulham, M., and Feng, D. (2016). An ensemble of fine-tuned convolutional neural networks for medical image classification. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, PP:1–9.
- Labati, R. D., Piuri, V., and Scotti, F. (2011). All-idb: The acute lymphoblastic leukemia image database for image processing. *Image Processing (ICIP), 2011 18th IEEE International Conference on*, pages 2045–2048.
- Madhukar, M., Agaian, S., and Chronopoulos, A. T. (2012). New decision support tool for acute lymphoblastic leukemia classification. *Image Processing: Algorithms and Systems X; and Parallel Processing for Imaging Applications II*, 8295.
- Madhukar, M., Agaian, S., and Chronopoulos, A. T. (2014). Automated screening system for acute myelogenous leukemia detection in blood microscopic images. *IEEE Systems Journal*, 8(3).
- Mohapatra, S., Patra, D., and Satpathy, S. (2014). An ensemble classifier system for early diagnosis of acute lymphoblastic leukemia in blood microscopic images. *Neural Computing and Applications*, 24:1887–1904.
- Patel, N. and Mishra, A. (2015). Automated leukaemia detection using microscopic images. 58:635–642.
- Shin, H., Roth, H. R., Gao, M., Lu, L., Xu, Z., Nogues, I., Yao, J., Mollura, D. J., and Summers, R. M. (2016). Deep convolutional neural networks for computer-aided detection: CNN architectures, dataset characteristics and transfer learning. *CoRR*, abs/1602.03409.
- Vincent, I., Kwon, K.-R., Lee, S.-H., and Moon, K.-S. (2015). Acute lymphoid leukemia classification using two-step neural network classifier. *Frontiers of Computer Vision (FCV)*, pages 1–4.
- Vogado, L. H. S., de M S Veras, R., Andrade, A. R., e Silva, R. R. V., de Araujo, F. H. D., and de Medeiros, F. N. S. (2016). Unsupervised leukemia cells segmentation based on multi-space color channels. In *International Symposium on Multimedia*, pages 451–456. IEEE.
- Wang, D., Khosla, A., Gargeya, R., Irshad, H., and Beck, A. H. (2016). Deep Learning for Identifying Metastatic Breast Cancer. *ArXiv e-prints*.
- Zack, G. W., Rogers, W. E., and Latt, S. A. (1977). Automatic measurement of sister chromatid exchange frequency. *Journal of Histochemistry & Cytochemistry*, pages 741–753.

NutriMob Kids - Um Aplicativo Para Avaliação, Prescrição e Monitoramento da Terapia Nutricional Enteral Domiciliar em Pediatria

Daniel A. Callegari¹, Raquel da Luz Dias², Ana M. P. Feoli²,
Murilo de O. Araújo¹, Laura Hofmeister²

¹Faculdade de Informática, ²Faculdade de Enfermagem, Nutrição e Fisioterapia
Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul – Porto Alegre, RS – Brasil

{daniel.callegari, raquel.dias, anafeoli}@pucrs.br,
{murilo.araujo, laura.hofmeister}@acad.pucrs.br

Abstract. *Nutritional therapy is one of the most important components of home care in pediatrics, especially the enteral modality. The use of technologies that support this kind of therapy is fundamental to the patient's quality of life. This paper describes the development of a computational solution to support the evaluation, prescription and monitoring of home enteral nutritional therapy for pediatric patients. Developed using OpenUP and supported by UML diagrams, the project's results comprise a Web site for health professionals as well as a mobile application that allows family members or caregivers to monitor guidelines for the prescribed nutritional therapy.*

Resumo. *Um dos principais componentes da assistência domiciliar em pediatria é a terapia nutricional enteral. O uso de tecnologias que apoiam as etapas de implementação do tratamento promove maior segurança e qualidade de vida aos profissionais, pacientes e cuidadores envolvidos. Este artigo descreve o desenvolvimento de uma solução computacional de suporte à avaliação, à prescrição e ao monitoramento da terapia nutricional enteral domiciliar para pacientes pediátricos, desenvolvido com base no OpenUP e suportado por diagramas UML. Os resultados do projeto incluem um website para profissionais de saúde e um aplicativo móvel, que permite que familiares ou cuidadores monitorem as orientações sobre a terapia nutricional prescrita.*

1. Introdução

O perfil epidemiológico brasileiro relacionado à saúde da criança tem gerado necessidades e exigências aos serviços de saúde, tanto no que se refere a uma demanda crescente de serviços altamente especializados e complexos, quanto à necessidade de serviços básicos de qualidade e eficientes, como a estruturação da assistência domiciliar (AD) [SBP 2009]. Neste contexto, um dos importantes componentes da AD em pediatria é a terapia nutricional (TN), principalmente a terapia nutricional enteral (TNE). A TNE pode ser definida como o conjunto de procedimentos que objetiva a manutenção ou recuperação do estado nutricional do indivíduo [ANVISA 2000].

Em nível hospitalar, seu uso está diretamente relacionado com a prevenção e recuperação da desnutrição [Waitzberg et al. 2001]. Alguns pacientes já são admitidos no hospital com desnutrição e outros a desenvolvem após a internação. Já em nível

domiciliar, a Terapia Nutricional Enteral Domiciliar (TNED) proporciona um melhor aproveitamento dos recursos disponibilizados aos cuidados assistenciais, além de permitir a humanização durante a terapia; adicionalmente, promove um ambiente familiar, confortável e seguro; reduz o tempo de internação e a exposição ao risco de infecções e, conseqüentemente, propicia uma melhor qualidade de vida ao paciente [Azank et al. 2009] [MS 2012].

Existem poucas evidências publicadas sobre TNE domiciliar em crianças. Um estudo realizado no Distrito Federal analisou o perfil dos pacientes pediátricos submetidos a TNED e encontrou uma casuística de 184 crianças e adolescente com idade média de 2 anos. Segundo os autores, as indicações do uso de TNED em crianças geralmente está relacionada a doenças crônicas, como os distúrbios digestivos, doenças neuromusculares, malformações congênitas e desordens cardíacas. Certamente, esse cenário está relacionado aos avanços da atenção integral à saúde da criança, o que repercute na redução das taxas de mortalidade infantil, propiciando uma maior assistência a pacientes que necessitam de cuidados crônicos [Zaban et al. 2010].

O suporte nutricional no domicílio atualmente tem propiciado o tratamento com êxito de indivíduos com enfermidades que, de outra maneira, necessitariam de internações hospitalares prolongadas ou repetidas, para a correção das alterações nutricionais. Os processos avaliativos e educativos na assistência domiciliar são fundamentais para aferir a qualidade, devendo existir parâmetros capazes de atender esse quesito [Padilha et al. 2012]. Paralelamente a esta realidade de valorização da AD e do aumento do uso de tecnologias aplicadas à saúde, observa-se um aumento crescente do uso de dispositivos móveis por indivíduos de diferentes faixas etárias e classes sociais [Biscione 2013].

1.1 Motivação e Justificativa

Considerando o cenário atual, o uso das TICs avançou muito nas últimas décadas no que diz respeito ao uso, à qualidade e à abrangência dos equipamentos. Os dispositivos móveis destacam-se neste sentido, pois conferem a estes equipamentos uma ampla possibilidade de customização e de usos na área da saúde. Os *Personal Health Applications* ou Aplicativos de Saúde Pessoal têm cada vez mais espaço nos telefones celulares e nos *tablets* de usuários do mundo todo. No entanto, esses dispositivos podem estar sendo subutilizados no sentido da promoção da saúde, principalmente em situações em que o monitoramento de indicadores de saúde deve fazer parte da rotina do usuário.

Atualmente existem seis aplicativos com a temática da nutrição enteral, oferecendo ao usuário soluções para cálculo de necessidades nutricionais e escolha de fórmulas; a saber: Nutricritical, NHScalc BR, Prodiet, Nutrimed, Tecnovida e Nutrmanager. Nenhum deles, contudo, possui a abrangência das funcionalidades da solução aqui proposta, que integra informações vindas do profissional de saúde e do usuário final. O ineditismo da proposta confere a característica inovadora desta solução. Adicionalmente, não foram encontrados outros trabalhos relacionados que se equiparem ao proposto nesta pesquisa. Dessa forma, tendo em vista a relevância do tema e a oportunidade de ampliação de uma solução computacional em pleno desenvolvimento, com uma aplicação focada na saúde da criança, foi proposto o desenvolvimento de uma solução computacional para apoiar o tratamento em TNED em pediatria.

Este projeto é, portanto, uma continuidade do projeto de pesquisa *NutriMob*, que teve seu início em agosto de 2016. O objetivo inicial do projeto antecessor foi o de prototipar uma solução computacional de suporte à avaliação, à prescrição e ao monitoramento da terapia nutricional enteral domiciliar para indivíduos adultos. Tal projeto já se encontra em uma fase avançada de desenvolvimento, tanto da solução computacional do *website* e do aplicativo, quanto do conteúdo da solução. Devido às especificidades da TNE em pediatria – que possui avaliação e prescrição dietética distintas das do adulto – julgamos necessário o desenvolvimento de um segmento específico para pacientes pediátricos. Foram acrescentadas à solução 21 tabelas de cálculo específicas para pediatria, 7 novos gráficos e 27 novas fórmulas, além de funcionalidades exclusivas para pacientes pediátricos. Detalhes adicionais podem ser obtidos no *website* oficial do projeto www.nutrimob.com.br.

1.1 Objetivos Específicos

O objetivo principal do projeto é fornecer apoio computacional especializado tanto para os profissionais de saúde quanto para os pacientes, familiares ou cuidadores. As atividades principais do projeto são: (i) levantamento e análise das necessidades dos profissionais de saúde e dos pacientes pediátricos em TNED; (ii) elaboração de uma solução computacional para servir de apoio aos profissionais de saúde, familiares e pacientes na condução de um tratamento de nutrição enteral domiciliar; (iii) implementação de um *website*, por meio do qual os profissionais de saúde podem gerenciar e acompanhar os tratamentos de seus pacientes; (iv) implementação de um aplicativo móvel para ser usado pelos familiares, pelos cuidadores ou pelo próprio paciente pediátrico, por meio do qual as recomendações da terapia são comunicadas; (v) elaboração e implementação das regras de negócio baseadas nas recomendações estabelecidas por diretrizes para a terapia nutricional enteral para pacientes pediátricos; (vi) avaliação da solução com o apoio de profissionais da área da saúde.

2. Detalhamento

A partir do *website*, os profissionais da saúde podem: (i) realizar a avaliação e o acompanhamento do estado nutricional com base em indicadores antropométricos e dados subjetivos; (ii) prescrever a terapia nutricional enteral mais adequada para cada caso, estabelecendo via de acesso, método de administração, necessidades nutricionais (energia, carboidratos, proteínas, lipídios, volume de líquidos) e tipo de fórmula (o sistema auxilia todo o processo e já possui cadastradas mais de 200 fórmulas nutricionais comerciais disponíveis no mercado, com o detalhamento completo de suas características nutricionais e preparo); (iii) monitorar a evolução da terapia nutricional de cada paciente.

Para o profissional de saúde, o sistema orienta a prescrição da terapia nutricional enteral, seguindo 5 principais etapas: (i) Indicações da Terapia; (ii) Determinação das Necessidades Nutricionais, (iii) Determinação da via de acesso da Terapia, (iv) Escolha da(s) fórmula(s), e (v) Determinação do Sistema e do Método de administração. Esses recursos podem ser configurados pelo profissional que acompanha o paciente, permitindo que familiares e cuidadores ou o próprio paciente, tenham um maior conhecimento, controle e autonomia sobre o tratamento nutricional realizado no domicílio. Através do aplicativo, os usuários finais, por sua vez, podem: (i) acompanhar

as recomendações dos profissionais da saúde; (ii) atualizar dados sobre as condutas e sobre a evolução do tratamento; (iii) receber avisos e notificações programadas, de acordo com o tratamento indicado; (iv) acompanhar orientações e intercorrências; (v) manter um registro sobre o seu tratamento. A Figura 1 apresenta alguns exemplos de telas do aplicativo desenvolvido para a plataforma Android. As principais linguagens e tecnologias utilizadas foram: Java, Javascript, PHP, ChartJS, MySQL; bem como Selenium IDE e Postman para a execução de testes.

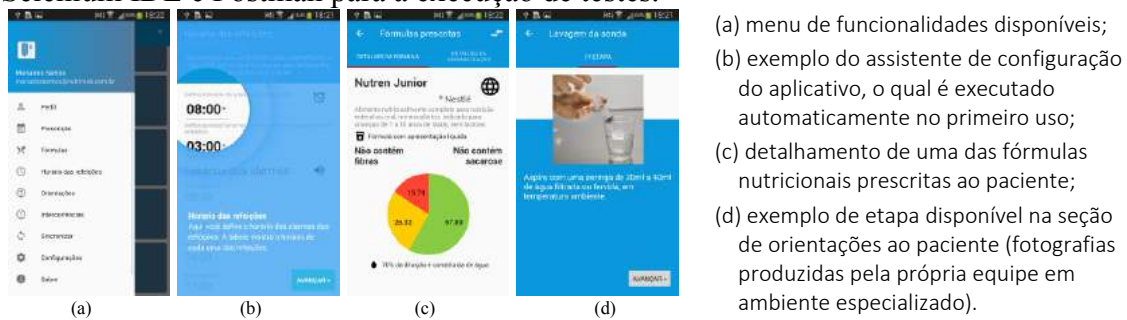


Figura 1. Exemplos de telas do aplicativo

Conclusão e Trabalhos Futuros

Como produto deste projeto e principal resultado está o desenvolvimento de uma solução computacional para apoiar o tratamento em Terapia Nutricional Enteral Domiciliar em pediatria, que promoverá a maior segurança nas decisões clínicas dos profissionais e maior conhecimento sobre o tratamento e autonomia para o autocuidado nos pacientes e seus cuidadores. As atividades futuras já agendadas envolvem a avaliação da usabilidade com usuários finais e profissionais parceiros.

Referências

- ANVISA. (2000) Agência Nacional de Vigilância Sanitária. “Resolução RDC nº. 63 de 06/07/2000”. Aprova o Regulamento Técnico para fixar os requisitos mínimos exigidos para a Terapia de Nutrição Enteral. Brasília, DF.
- Azank, A.T.; Leandro-Merhi, V.A.; Poliselli, C.; Oliveira MRM. (2009) “Indicadores nutricionais em pacientes alimentados por sonda, em sistema de ‘Home Care’”, Arquivos Catarinenses de Medicina Vol. 38, no. 4.
- Biscione F.M, *et.al.* Avaliação de efetividade da atenção domiciliar de uma cooperativa médica de Belo Horizonte, MG, Cad. Saúde Pública, RJ 29 Sup: S73-S80, 2013. 9.
- MS - Ministério da Saúde. (2012) Caderno de Atenção Domiciliar. Brasília.
- Padilha, P.C.; Souza, T.V.; Botelho, A.; Buonora, S. (2012) “Assistência Domiciliar em Pediatria: Enfoque na Terapia Nutricional Enteral”, Boletim da Sociedade Brasileira de Nutrição Enteral e Parenteral – SBNPE. Rio de Janeiro, Jul/Ago/Set.
- SBP - Sociedade Brasileira de Pediatria. (2009) “Avaliação nutricional da criança e do adolescente” – Manual de Orientação / Sociedade Brasileira de Pediatria. Departamento de Nutrologia, 112 p.
- Waitzberg, D.L.; Caiaffa, W.T.; Correia, M.I. (2001) “Hospital malnutrition: the Brazilian national survey (IBRANUTRI): a study of 4000 patients”, Nutrition. Volume 17, Issues 7–8, July–August, Pages 573–580.
- Zaban, A.L.R.; Novaes, M.R.C.G. (2010) “Home enteral nutrition in children: a one-year experience with 184 patients in Distrito Federal, Brazil”. Experimental Biology and Medicine; 235:584-9.

Proposta de um Descritor Híbrido para Aprimoramento da Identificação Automática de Melanoma

Nayara Moura, Rodrigo Veras, Kelson Aires, Luís Santos, Vinicius Machado

Departamento de Computação – Universidade Federal do Piauí (UFPI)
Campus Ministro Petrônio Portella – Teresina – PI – Brasil

naayaholanda@gmail.com, rveras@ufpi.edu.br

Abstract. *Melanoma is skin cancer with a high degree of mortality. An estimated for 2017 that 9,730 people will die of melanoma in the USA. However, early detection of the disease reduces the death rate dramatically. Thus, this work aims to propose a hybrid descriptor for extraction of characteristics in the detection of melanoma. Several methods have been proposed, but most use features of a single descriptor. Thus, a combination of the main descriptors was performed and a selection of 10% of the most relevant attributes with the Gain Ratio Information. The results obtained prove that the method is efficient, reaching an accuracy of 95.5% (PH² database) and 84.9% (DermIS database) with the MultiLayer Perceptron.*

Resumo. *O melanoma é o câncer de pele com alto grau de mortalidade. Estima-se para 2017 que 9.730 pessoas morrerão de melanoma nos EUA. Contudo, a detecção precoce da doença reduz a taxa de mortalidade drasticamente. Desse modo, esse trabalho tem como objetivo propor um descritor híbrido para extração de características na detecção do melanoma. Diversos métodos foram propostos, porém, em sua maioria utilizam características de um único descritor. Assim, foi realizada a combinação dos principais descritores e uma seleção de 10% dos atributos mais relevantes com o Gain Ratio Information. Os resultados obtidos provam que o método é eficiente, atingindo uma acurácia de 95,5% (na base PH²) e 84,9% (na base DermIS) com o MultiLayer Perceptron.*

1. Introdução

O melanoma está entre os mais perigosos tipos de câncer devido à sua alta taxa de mortalidade. A estimativa de novos casos para o ano de 2016, no Brasil, foi de 5.670, sendo 3.000 homens e 2.670 mulheres [INCA 2016]. Apenas nos Estados Unidos, a taxa de mortalidade causada pelo melanoma é de 75% quando comparada à causada por cânceres de pele não-melanoma. Entretanto, nesse tipo de câncer, se detectado nos estágios iniciais, o prognóstico pode ser considerado bom [Society 2015].

A análise de imagens dermatoscópicas pelos especialistas é baseada em uma inspeção visual das manchas ou feridas da pele, verificando se aparentam com feridas que não cicatrizam, se possuem crescimento assimétrico, bordas não delimitadas, entre outros aspectos [Lacy e Alwan 2013]. Um exemplo é a regra ABCD (Assimetria, Borda, Cor, Diâmetro), que também é utilizada por diversos sistemas CAD (*Computer Aided Diagnosis* - Diagnóstico Assistido por Computador).

A detecção precoce do melanoma ainda é um desafio e requer bastante atenção. Na literatura, muitos trabalhos nessa área utilizam um único descritor para a análise de imagens dermatoscópicas. Entretanto, essa pode não ser a estratégia ideal. Assim, o método proposto nesse trabalho é um descritor híbrido a partir da união de diferentes descritores como forma de alcançar uma melhor estratégia para a etapa de extração de características de sistemas CAD no problema estudado.

Foi realizada uma investigação dos principais descritores na identificação do melanoma e uma fusão dos mesmos com o propósito de combinar as características mais importantes. O objetivo é o desenvolvimento de um descritor que caracterize corretamente as lesões de pele como melanoma ou não-melanoma, com a finalidade de ser utilizado em um sistema CAD, auxiliando o dermatologista no diagnóstico.

O restante do artigo está organizado da seguinte forma: Seção 2 apresenta os trabalhos relacionados; Seção 3 descreve as bases de imagens utilizadas para os testes, os descritores e classificadores avaliados e o método proposto; Seção 4 apresenta os resultados e discussões; e por fim, Seção 5, a conclusão e trabalhos futuros.

2. Trabalhos Relacionados

Nos últimos anos, diversos trabalhos foram realizados em análise de imagens dermatoscópicas para detecção do melanoma, incluindo segmentação, extração de características e classificação. A extração de características pode ser vista como um passo fundamental para desenvolver um bom sistema CAD.

No trabalho de Chang et al. [Chang et al. 2013], um sistema CAD é proposto com o objetivo de diagnosticar lesões melanocíticas e não melanocíticas baseado em imagens fotográficas digitais convencionais. As características das imagens são extraídas através de descritores de cor, forma e textura em um total de 769 imagens de lesões de pele. Os algoritmos de textura utilizados foram a GLRLM (*Gray Level Run Length Matrix*) e de Tamura. Os resultados mostram que o método proposto alcançou uma acurácia de 90,64% e uma sensibilidade de 85,63%.

Em Codella et al. [Codella et al. 2015], *Deep Learning* e *Sparse Coding* são utilizados na extração de características de imagens de lesão de pele. Para a classificação, o algoritmo utilizado é o *Support Vector Machine* (SVM). Os experimentos foram realizados com uma quantidade de 2624 imagens (334 melanomas, 144 nevos atípicos e 2146 lesões benignas) e divididos em duas tarefas: diferenciar o melanoma das lesões não-melanoma e diferenciá-lo somente dos nevos atípicos. A primeira tarefa atingiu uma acurácia de 93,1% e, a segunda, uma acurácia de 73,9%.

No trabalho proposto por Bhati e Singhal [Bhati e Singhal 2015], a classificação de lesão de pele como benigna ou maligna para detecção do melanoma é feita a partir de um sistema baseado em TDS (*Total Dermoscopic Score*) e utiliza as características ABCD como descritor da lesão. A base de imagem é formada por 30 imagens (16 malignas e 14 benignas) de lesão de pele obtidas pelo *Cancer Research Center, Binaker*. Os resultados foram analisados de acordo com a sensibilidade e especificidade, alcançando 92,30% e 84,61%, respectivamente. Os pontos negativos desse trabalho está nas poucas imagens que foram utilizadas para validar o método proposto.

Já Sánchez-Monedero et al. [Sánchez-Monedero et al. 2016], propuseram um sis-

tema que combina a regra ABCD, a GLCM (*Grey-Level Co-occurrence Matrix*), o LBP (*Local Binary Pattern*) e MRF (*Markov Random Field*) para a extração de características das lesões de pele. Nesse trabalho, a base de dados é composta por 556 imagens. Vários métodos de classificação foram utilizados para os experimentos. O melhor resultado encontrado foi uma acurácia de 68,51% com o método LIPU (*Logistic regression using Initial variables and Product Units*).

Oliveira et al. [Oliveira et al. 2016] apresentam uma nova abordagem para extração de características de lesão de pele. A regra ABCD e o método *Box-Counting* são utilizados como descritores das imagens. Entretanto, o Diâmetro da regra ABCD não foi aplicado devido à sua grande dependência da resolução da imagem. As bases de imagens utilizadas possui um total de 408 imagens. Os experimentos foram divididos em três: classificação entre imagens de nevos e ceratose seborreica, entre nevos e melanoma, e entre ceratose seborreica e melanoma. Neste último, o resultado da classificação não foi tão expressivo com uma acurácia de 74,33%, utilizando o SVM. O melhor resultado obtido foi uma acurácia de 79,01%, porém, para a diferenciação entre nevos e ceratose seborreica, o que não torna tão eficiente o método.

3. Materiais e Métodos

3.1. Bases de Imagens

As bases de imagens utilizadas para os testes dos algoritmos constituem um total de 406 imagens dermatoscópicas. Essas bases foram escolhidas devido serem utilizadas em diversos trabalhos e principalmente diagnosticadas por um especialista, apresentando a máscara binária de cada lesão.

A base PH² [Mendonça et al. 2013] é formada por 200 imagens, sendo elas, 80 nevos comuns, 80 nevos atípicos e 40 melanomas. A base DermIS (*Dermatology Information System*) [Diepgen e Yihune 2012] possui um total de 206 imagens dermatoscópicas, divididas entre melanoma e não melanoma, 119 e 87, respectivamente. A Figura 1 apresenta exemplos de imagens de lesão de pele dessas duas bases utilizadas nesse trabalho.

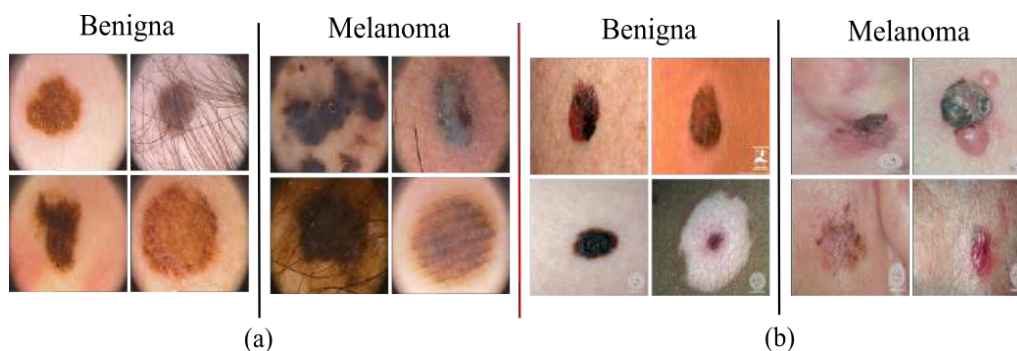


Figura 1. Exemplos de imagens das bases PH² (a) e DermIS (b), de acordo com a categoria.

3.2. Descritores

Atributos são propriedades que podem ser mensuradas a partir de uma imagem, como por exemplo forma, cor e textura. Esses atributos, agrupados em um vetor de características,

são denominados de descritor de imagem. Os descritores utilizados para extrair características de imagens de lesão de pele e formar o descritor híbrido proposto são detalhados a seguir:

Regra ABCD: Essa regra é dividida em quatro etapas para descrever a imagem e retorna 5 atributos: Assimetria (1), Irregularidade da Borda (2), Cor (1) e Diâmetro (1). A primeira característica calculada é o Diâmetro. Inicialmente, com a máscara binária, o contorno da lesão é obtido pelo algoritmo de Sobel [Sobel 1970], Em seguida, é calculada a maior distância entre dois pontos ($p_1 = (x_1, y_1)$ e $p_2 = (x_2, y_2)$) (diagonal maior) pertencentes à borda da lesão através do uso da equação da distância euclidiana (Equação 1). O resultado, em *pixels*, é utilizado para a classificação.

$$D_{(p_1,p_2)} = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}. \quad (1)$$

A Assimetria é encontrada a partir do Diâmetro, onde a maior distância, em *pixels*, entre a reta (diagonal maior) e um ponto pertencente à borda é obtida pela Equação 2. Onde a, b, c são os coeficientes da reta e x_0, y_0 os pontos da coordenada da imagem.

$$d = \frac{|ax_0 + by_0 + c|}{\sqrt{a^2 + b^2}}, \quad (2)$$

A Irregularidade da Borda é calculada a partir de duas técnicas. Na primeira, pesos são atribuídos para os quatro vizinhos da direita e da esquerda de todos os pontos da borda da lesão. O vizinho que estiver acima do ponto analisado em relação à coordenada y , recebe peso -1, caso contrário, recebe peso 1. Se esta soma for maior ou igual a 2 ou menor ou igual a -2, e positiva, a inflexão é considerada um pico, mas se negativa, é considerada um vale. O objetivo é descobrir a quantidade total de picos e vales menores na lesão [Araujo et al. 2012].

Já na segunda técnica, encontra-se os picos e vales maiores da lesão. O produto vetorial é empregado para todos os pontos da borda da lesão, considerando os seus vizinhos da direita e esquerda ($p - 15; p; p + 15$), sendo p o ponto, ou seja, variação de 15 *pixels* à esquerda e 15 *pixels* à direita do ponto p . Assim, caso o resultado do produto vetorial seja maior que zero, $p_1 = (x_1, y_1), p_2 = (x_2, y_2)$ e $p_3 = (x_3, y_3)$ constituem um pico e, se menor que zero, constituem um vale [Araujo et al. 2012].

Na característica Cor, a quantidade de cores encontradas na lesão é utilizada na classificação. Inicialmente, é realizada uma divisão da imagem em dez intervalos (cores pertencentes ao mesmo foram consideradas semelhantes). Para cada intervalo, é feita a contagem do número de *pixels*. Entretanto, as regiões muito pequenas (menos de 100 *pixels*) foram desconsideradas [Araujo et al. 2012].

Grey-Level Co-occurrence Matrix (GLCM): A GLCM, ou Matrizes de Co-ocorrências de Níveis de Cinza [Haralick et al. 1973] é um descritor de textura que analisa as co-ocorrências entre pares de *pixels* e armazena suas intensidades relativas em uma matriz quadrada. As probabilidades de co-ocorrências são calculadas entre dois níveis de cinza i e j , utilizando uma orientação θ (theta) ($0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ ou 135°) e uma distância conhecida como *pixel pair spacing*.

Várias características são definidas para a GLCM, porém foram utilizadas as mais importantes: contraste, correlação, energia, homogeneidade e entropia. Uma vez que, a utilização de algumas dessas características pode gerar um melhor resultado do que a utilização de todas [Silva Júnior 2007]. Assim, são retornados 17 atributos.

Gray Level Run Length Matrix (GLRLM): A GLRLM, ou Método de Comprimento de Primitiva a Nível de Cinza, descritor de textura, utiliza matrizes auxiliares e verifica as repetições dos *pixels* (primitivas). Uma matriz GLRLM é criada para cada corte e possui o número de primitivas dos níveis de cinza na direção θ (0° , 45° , 90° ou 135°) e a uma distância d . Assim, esse descritor retorna 44 características. A soma de todas as matrizes GLRLM de cada corte é feita, e a partir do número de repetições encontrados, a matriz é dividida e normalizada.

Segundo Galloway [Galloway 1975], a partir da matriz do GLRLM cinco medidas estatísticas podem ser extraídas. São elas, a ênfase em primitivas curtas (*Short-Run Emphasis*), a ênfase em primitivas longas (*Long-Run Emphasis*), a uniformidade do nível de cinza (*Gray Level distribution*), a uniformidade do comprimento da primitiva (*Run Length distribution*) e a percentagem de primitivas (*Run Percentage*). Entretanto, mais duas medidas estatísticas foram determinadas por Chu et al. [Chu et al. 1990], a ênfase em primitivas de baixo nível de cinza (*Low Gray Level Run Emphasis*) e a ênfase em primitivas de alto nível de cinza (*High Gray Level Run Emphasis*).

Outras quatro funções de extração de características seguindo a ideia das medidas estatísticas foram descritas por Dasarthyand e Holder [Dasarthyand e Holder 1991]. São elas: ênfase em primitivas curtas de baixo nível de cinza (*Short Run Low Gray Level Emphasis*), ênfase em primitivas curtas de alto nível de cinza (*Short Run High Gray Level Emphasis*), ênfase em primitivas longas de baixo nível de cinza (*Long Run Low Gray Level Emphasis*) e ênfase em primitivas longas de alto nível de cinza (*Long Run High Gray Level Emphasis*).

Histograms of Oriented Gradients (HOG): O Histograma de Gradientes Orientados [Dalal e Triggs 2005], calcula o histograma da orientação dos gradientes na imagem. Ele converte a imagem para escala de cinzas e a normaliza de acordo com a iluminação. A computação dos gradientes e uma divisão da imagem em pequenas regiões espaciais chamadas células são realizadas.

Para cada célula é calculado um histograma local *I-D* das orientações sobre os *pixels* da célula. Após os histogramas serem computados, eles são normalizados através de um acúmulo de histogramas locais em regiões espaciais um pouco maiores chamadas de blocos. Os histogramas acumulados são então utilizados para normalizar todas as células naquele bloco. Após a normalização, uma janela de detecção é coletada sobre os histogramas gerados, que consiste na saída do descritor HOG com 81 atributos.

Local Binary Pattern (LBP): No descritor de textura LBP, ou Padrão Binário Local [Ojala et al. 1996], é realizada uma rotulação dos *pixels* de uma imagem em níveis de cinza por limiarização. Cada *pixel* é comparado com o central da janela de vizinhança 3×3 que constitui o valor do limiar. Quando todas as janelas forem computadas, o vetor de atributos (com 256 atributos) é montado com a junção dos valores obtidos. Assim, o histograma da célula é calculado, ou seja, as quantidades de “0” e “1”.

Tamura: Proposto por Tamura [Tamura et al. 1978], esse descritor de textura cal-

cula sob a imagem as seguintes três características: *coarseness*, contraste e direcionalidade. Essas características estão relacionadas à percepção visual humana.

Box-Counting: O método *Box-Counting* também é um descritor de textura, que calcula as dimensões fractais [Al-Akaidi 2004] sob uma imagem, retornando 11 atributos. A dimensão fractal é um processo que divide a imagem em vários quadrantes para quantificar o nível de irregularidade ou auto-similaridade fractal da mesma.

Convolutional Neural Network (CNN): A CNN ou Rede Neural Convolutiva utilizada nesse trabalho, possui a técnica de transferência de aprendizado proposta por Shin et al. [Shin et al. 2016]. Uma das formas de se realizar esta transferência, e a empregada nesse trabalho, é utilizando a penúltima camada da rede como matriz de características, contendo 4096 atributos por instância. As arquiteturas utilizadas foram: *AlexNet*, *CaffeNet* e *VGGNet*.

3.3. Classificadores

Um classificador tem por objetivo dividir o espaço de características em regiões de decisão. A entrada dos classificadores é o vetor de atributos resultante dos descritores, e a saída é a classe que a região pertence. Os classificadores que foram utilizados nesse trabalho são apresentados a seguir:

MultiLayer Perceptron (MLP): O MLP, ou Perceptron de Múltiplas Camadas, é uma rede neural artificial utilizada para resolver problemas mais complexos. Ele possui uma rede de perceptrons dispostos em camada. Seu método mais popular para aprendizado é chamado de retropropagação (*backpropagation*). Esse tipo de aprendizado consiste em dois passos através das diferentes camadas da rede: propagação e retropropagação. No primeiro, um padrão de atividades é aplicado aos nós sensoriais e a resposta real da rede é produzida. No segundo, os pesos sinápticos são ajustados de acordo com um sinal de erro para ser propagado na direção contrária das conexões sinápticas [Haykin 2009].

Support Vector Machine (SVM): Proposto por Cortes e Vapnik [Cortes e Vapnik 1995], a *Support Vector Machine*, ou Máquina de Vetor de Suporte, é uma técnica de aprendizagem supervisionada, que contém as fases de treinamento, atributos e saídas desejadas, e teste, para encontrar uma saída a partir de vetor de entrada. Em geral, é feito um mapeamento do espaço de entrada para um espaço de dimensionalidade maior e calculado, em seguida, um hiperplano de separação ótimo a fim de maximizar a distância de separação entre as classes.

Random Forest: O classificador *Random Forest* [Breiman 2001] é uma combinação de diversas árvores onde cada uma de suas árvores depende dos valores de um vetor independente aleatoriamente e com a mesma distribuição para todas as árvores da série de árvores de decisão. Por fim, quando um grande número de árvores são geradas, as classes com maior número de votos são eleitas.

Na geração dos resultados foi utilizado o método estatístico *k-fold cross-validation* ($k = 10$). E para avaliar o desempenho dos algoritmos foram utilizadas algumas métricas conhecidas na literatura: Precisão (P), Sensibilidade (S), índice Kappa (K) [Rosenfield e Fitzpatrick-Lins 1986] e Acurácia (A).

3.4. Método Proposto

A Figura 2 apresenta o fluxograma do método proposto nesse trabalho. Inicialmente, todas as imagens foram convertidas para o sistema de cores HSV (*Hue* - Matiz, *Saturation* - Saturação, *Value* - Brilho). Em seguida, as características foram extraídas pelos descritores a partir da componente gerada pela soma das bandas S e V. Isso se deve ao fato que essa nova componente consegue diferenciar melhor os tipos de lesão de pele [Moura et al. 2015].

Uma seleção de atributos com o algoritmo Razão de Ganho de Informação (*Gain Ratio Information*) foi realizada no vetor de características obtido. Ele é um filtro de atributos supervisionado que pode ser usado para selecionar atributos. É muito flexível e permite combinar vários métodos de pesquisa e avaliação. O método utilizado foi o *Ranker*, que classifica os atributos por suas avaliações individuais. Depois dos atributos classificados, somente 10% deles foram utilizados. Visto que os descritores utilizados retornam uma grande quantidade de atributos (12.705 no total), ou seja, uma grande possibilidade de existir atributos que não sejam significativos ou que sejam duplicados, dificultando a classificação das lesões de pele [Kumar et al. 2016].

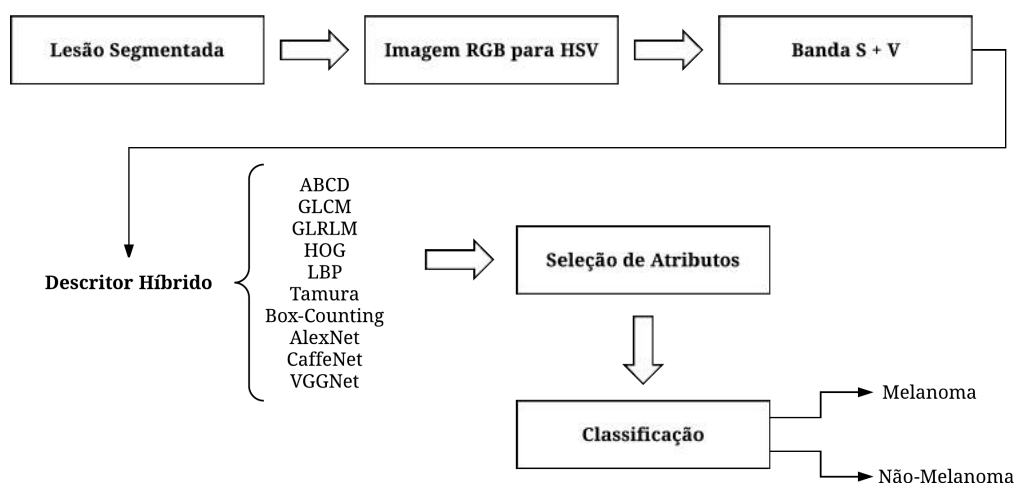


Figura 2. Fluxograma do método proposto para identificação de melanoma em imagens de lesão de pele.

4. Resultados e Discussão

As bases de imagens PH² e DermIS utilizadas para os testes dos algoritmos constituem 200 e 206 imagens dermatoscópicas, respectivamente. Inicialmente, os testes foram feitos para cada um dos descritores apresentados separadamente, com o objetivo de realizar uma análise comparativa com o método proposto. Subsequentemente, os testes foram realizados no descritor híbrido proposto (união de todos os descritores). Para a classificação, os algoritmos SVM, MLP e *Random Forest* foram os escolhidos.

A Tabela 1 mostra os resultados alcançados na classificação nas imagens da base PH² para cada um dos descritores. O CNN com a arquitetura VGG, utilizando o classificador SVM, obteve uma acurácia e sensibilidade de 92%, com um índice Kappa de 0,724, considerado como um resultado “Muito Bom” (de acordo com o nível de exatidão de uma

Tabela 1. Resultados da classificação das lesões de pele da base PH².

Método	MLP				SVM				Random Forest			
	P	S	K	A	P	S	K	A	P	S	K	A
ABCD	0,894	0,895	0,618	89,5	0,765	0,805	0,118	80,5	0,857	0,865	0,539	86,5
GLCM	0,789	0,795	0,341	79,5	0,732	0,795	0,072	79,5	0,819	0,830	0,426	83
GLRLM	0,885	0,890	0,636	89	0,640	0,800	0	80	0,885	0,890	0,636	89
HOG	0,898	0,895	0,681	89,5	0,898	0,895	0,680	89,5	0,875	0,880	0,603	88
LBP	0,863	0,870	0,522	87	0,640	0,800	0	80	0,845	0,855	0,449	85,5
Tamura	0,891	0,895	0,634	89,5	0,885	0,890	0,628	89	0,820	0,815	0,438	81,5
Box-Counting	0,876	0,860	0,6	86	0,876	0,860	0,6	86	0,876	0,876	0,876	86
CNN - AlexNet	0,857	0,865	0,539	86,5	0,896	0,900	0,655	90	0,902	0,905	0,669	90,5
CNN - CaffeNet	0,873	0,880	0,586	88	0,896	0,900	0,662	90	0,899	0,900	0,640	90
CNN - VGGNet	0,873	0,880	0,586	88	0,919	0,920	0,724	92	0,907	0,910	0,689	91
Proposto	0,954	0,955	0,855	95,5	0,640	0,800	0	80	0,945	0,945	0,816	94,5

classificação, estabelecido por Landis e Koch [Landis e Koch 1977]). Em contraste, o GLRLM, o LBP e o método proposto, também com o SVM, não conduziram a uma boa diferenciação entre as classes, um Kappa de 0 foi obtido, ou seja, o classificador errou todas imagens.

No entanto, o melhor resultado pode ser obtido com o método proposto, utilizando o classificador MLP, onde foi possível acertar 95,5% das lesões de pele, atingindo também uma sensibilidade de 95,5%, uma precisão de 95,4% e um índice Kappa de 0,855, considerado “Excelente”. Com o classificador *Random Forest*, o melhor resultado também foi alcançado com o método proposto, obtendo uma acurácia de 94,5% e um índice Kappa de 0,816.

A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos a partir das imagens da base de dados DermIS. Para essa base, o melhor resultado de classificação também pode ser obtido com método proposto e o classificador MLP, atingindo uma acurácia de 84,9% e um índice Kappa de 0,69, considerado “Muito Bom”.

Com o descritor CNN, para todas as arquiteturas, um resultado com valor bem próximo foi obtido, utilizando o classificador SVM. Entretanto, ainda sim, o método proposto apresenta os melhores resultados quando utilizado com o classificador MLP. Ainda nessa base, o *Random Forest* com o descritor CNN e rede VGG atingiram uma acurácia de 83% e um Kappa de 0,645.

Analisando os resultados obtidos para classificação de lesões de pele, é possível observar que o método proposto obteve o melhor valor de classificação em relação à todas as taxas com o classificador MLP. Isso se deve ao fato que a combinação de diversos algoritmos conseguiu diferenciar melhor as classes estudadas.

5. Conclusão e Trabalhos Futuros

Existem diversos métodos na literatura para classificação de lesões de pele. Entretanto, os resultados do método proposto se mostraram bastante satisfatórios em conjunto com o classificador MLP. O mesmo obteve uma acurácia de 95,5% para a base PH² e 84,9% para a base DermIS. Os resultados mostram que a combinação de vários algoritmos de extração de características descreve a imagem suficientemente bem para o problema em questão. Ou seja, isso implica dizer que o método proposto constitui um bom descritor para o classificador conseguir separar as duas classes.

Tabela 2. Resultados da classificação das lesões de pele da base DermIS.

Método	MLP				SVM				Random Forest			
	P	S	K	A	P	S	K	A	P	S	K	A
ABCD	0,525	0,553	0,021	55,3	0,448	0,519	-0,080	51,9	0,476	0,476	-0,074	47,5
GLCM	0,665	0,660	0,257	66	0,718	0,675	0,271	67,4	0,595	0,602	0,166	60,1
GLRLM	0,658	0,660	0,269	66	0,581	0,592	0,134	59,2	0,608	0,612	0,196	61
HOG	0,686	0,689	0,345	68,9	0,334	0,578	0	57,7	0,630	0,636	0,233	63,5
LBP	0,619	0,626	0,210	62,6	0,334	0,578	0	57,7	0,625	0,631	0,224	63,1
Tamura	0,640	0,641	0,261	64	0,334	0,578	0	57,7	0,616	612	0,211	61,1
Box-Counting	0,488	0,549	-0,02	54,8	0,334	0,578	0	57,7	0,484	0,485	-0,057	48,5
CNN - AlexNet	0,811	0,811	0,612	81	0,850	0,850	0,688	84,9	0,835	0,835	0,657	83,4
CNN - CaffeNet	0,836	0,835	0,662	83,4	0,849	0,850	0,689	84,9	0,805	0,806	0,598	80,5
CNN - VGGNet	0,849	0,850	0,689	84,9	0,839	0,840	0,670	83,9	0,831	0,830	0,645	83
Proposto	0,851	0,850	0,69	84,9	0,334	0,578	0	57,7	0,815	0,816	0,619	81,5

Os resultados apresentados são promissores. Entretanto, podem ser melhorados. Como trabalhos futuros, um passo importante para aumentar as taxas de acerto obtidas reside na adição de mais descritores de textura no descritor híbrido. Além disso, o método proposto deverá ser comparado com abordagens de CNN.

Referências

- Al-Akaidi, M. (2004). *Fractal speech processing*. Cambridge university press.
- Araujo, A. F. et al. (2012). Análise e caracterização de lesões de pele para auxílio ao diagnóstico médico. *Avanços em Visão Computacional*.
- Bhati, P. e Singhal, M. (2015). Early stage detection and classification of melanoma. In *Communication, Control and Intelligent Systems (CCIS), 2015*, pages 181–185. IEEE.
- Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine learning*, 45(1):5–32.
- Chang, W.-Y. et al. (2013). Computer-aided diagnosis of skin lesions using conventional digital photography: a reliability and feasibility study. *PloS one*, 8(11):e76212.
- Chu, A., Sehgal, C. M., e Greenleaf, J. F. (1990). Use of gray value distribution of run lengths for texture analysis. *Pattern Recognition Letters*, 11(6):415–419.
- Codella, N., Cai, J., et al. (2015). Deep learning, sparse coding, and svm for melanoma recognition in dermoscopy images. In *International Workshop on Machine Learning in Medical Imaging*, pages 118–126. Springer.
- Cortes, C. e Vapnik, V. (1995). Support-vector networks. *Machine learning*, 20(3):273–297.
- Dalal, N. e Triggs, B. (2005). Histograms of oriented gradients for human detection. In *Computer Vision and Pattern Recognition, 2005. CVPR 2005. IEEE Computer Society Conference on*, volume 1, pages 886–893. IEEE.
- Dasarathyan, B. R. e Holder, E. B. (1991). Image characterizations based on joint gray-level run-length distributions. *Pattern Recognition Letters*, 12(8):497–502.
- Diepgen, T. L. e Yihune, G. (2012). Dermatology information system – dermis. <http://dermis.net/>. Acessado em: 2017.
- Galloway, M. M. (1975). Texture analysis using gray level run lengths. *Computer graphics and image processing*, 4(2):172–179.

- Haralick, R. M., Shanmugam, K., et al. (1973). Textural features for image classification. *IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics*, 3(6):610–621.
- Haykin, S. S. (2009). *Neural networks and learning machines*, volume 3. Pearson Upper Saddle River, NJ, USA:.
- INCA (2016). Tipo - pele melanoma. http://www.inca.gov.br/wps/wcm/connect/tiposdecancer/site/home/pele_melanoma. Acessado em: 2017.
- Kumar, A. et al. (2016). An ensemble of fine-tuned convolutional neural networks for medical image classification. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*.
- Lacy, K. e Alwan, W. (2013). Skin cancer. *Medicine*, 41(7):402–405.
- Landis, J. R. e Koch, G. G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *biometrics*, pages 159–174.
- Mendonça, T. et al. (2013). Ph 2-a dermoscopic image database for research and benchmarking. In *Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2013 35th Annual International Conference of the IEEE*, pages 5437–5440. IEEE.
- Moura, N. H. et al. (2015). Classificação de lesões de pele utilizando atributos de cor e textura. *Workshop de Informática Médica – WIM*.
- Ojala, T., Pietikäinen, M., e Harwood, D. (1996). A comparative study of texture measures with classification based on featured distributions. *Pattern recognition*, 29(1):51–59.
- Oliveira, R. B. et al. (2016). A computational approach for detecting pigmented skin lesions in macroscopic images. *Expert Systems with Applications*, 61:53–63.
- Rosenfield, G. H. e Fitzpatrick-Lins, K. (1986). A coefficient of agreement as a measure of thematic classification accuracy. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 52(2):223–227.
- Sánchez-Monedero, J. et al. (2016). Classification of melanoma presence and thickness based on computational image analysis. In *International Conference on Hybrid Artificial Intelligence Systems*, pages 427–438. Springer.
- Shin, H.-C., Roth, H. R., et al. (2016). Deep convolutional neural networks for computer-aided detection: Cnn architectures, dataset characteristics and transfer learning. *IEEE transactions on medical imaging*, 35(5):1285–1298.
- Silva Júnior, E. R. (2007). Investigação de técnicas de extração e seleção de características e classificadores aplicados ao problema de classificação de dígitos manuscritos de imagens de documentos históricos. 51 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia da Computação) — Escola Politécnica de Pernambuco, UFPE, Pernambuco.
- Sobel, I. (1970). Camera models and machine perception. Technical report, DTIC Document.
- Society, A. C. (2015). Cancer facts & figures 2015. <http://cancer.org/acs/groups/content/@editorial/documents/document/acspc-044552.pdf>. Acessado em: 2017.
- Tamura, H., Mori, S., e Yamawaki, T. (1978). Textural features corresponding to visual perception. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 8(6):460–473.

Caracterização de Atendimentos em uma Rede de Atenção à Saúde

Leonardo de O. Jasmim¹, Artur Ziviani¹, Marcia Ito², Paulo B. Paiva³

¹ Laboratório Nacional de Computação Científica (LNCC) – Petrópolis/RJ – Brasil

² IBM Research Brazil – São Paulo/SP – Brasil

³ Departamento de Informática em Saúde
Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP) – São Paulo/SP – Brasil

{ljasim, ziviani}@lncc.br, marciaito@br.ibm.com, paiva@unifesp.br

Abstract. *Healthcare networks are a complex system. Currently, there is trend towards applying methods from complex network analysis to model and analyze such systems. This approach enables the study of the flow of patients through the care services in order to identify relevant patterns, improve resource allocation, and promote better service to the population. This is an ongoing work in which we present a first exploratory study aiming at characterizing the assistance in a public healthcare network, which is a starting point for a broader study of the patient flows based on the theory of complex networks.*

Resumo. *Redes de atenção à saúde formam um sistema complexo. Atualmente há uma tendência crescente de aplicação de métodos de análise de redes complexas para modelar e analisar tais sistemas. Essa abordagem possibilita o estudo do fluxo de atendimento dos pacientes para a identificação de padrões relevantes, a melhoria na alocação dos recursos e a promoção de melhor serviço à população. Este é um trabalho em andamento no qual apresentamos um primeiro estudo exploratório visando a caracterização de atendimentos em uma rede de atenção à saúde pública, ponto inicial para um estudo mais amplo de fluxo de atendimentos com base na teoria de redes complexas.*

1. Introdução

A interconectividade dos diversos componentes que englobam as redes de atenção à saúde (unidades de saúde, tipos de serviço prestados, profissionais e pacientes) tipicamente gera um sistema muito complexo, tendo em vista a diversidade e densidade destas interações, dificultando a análise do comportamento desta rede. Nesse contexto, observa-se uma tendência na utilização de técnicas de modelagem e análise de redes complexas na área da saúde, não apenas para modelos de propagação de doenças, mas também as relacionando à organização dos serviços de saúde, visando a melhor coordenação de cuidados e uso de recursos de forma centrada no paciente [Pollack et al. 2013, Ito et al. 2016, Barnett et al. 2011, Findlay and Grant 2011, Thorwarth and Arisha 2012].

Ao fazer uso da rede de atenção à saúde, os pacientes estabelecem fluxos de acesso aos serviços, criando relacionamentos entre os componentes da rede que podem ser empiricamente representados conforme a Figura 1. Analisar os fluxos de atendimento de pacientes com características similares de demanda pode auxiliar os gestores do sistema

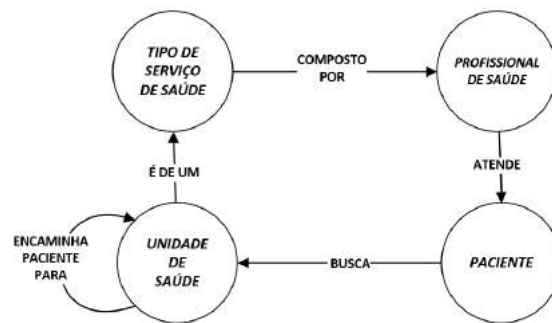


Figura 1. Relacionamento de entidades nas redes de atenção à saúde.

na melhor organização dos recursos, bem como na oferta de um atendimento mais eficiente do ponto de vista do paciente. Em uma primeira etapa do projeto mais amplo de análise do fluxo de atendimentos em serviços de saúde, neste artigo de trabalho em andamento, apresentamos a caracterização de atendimentos em uma rede de atenção à saúde do sistema público de saúde. Com isso, visamos criar subsídios para futuras avaliações baseadas em redes complexas, verificando a dinâmica de redes de atenção à saúde sob novas perspectivas, buscando o melhor entendimento da rede e apoio para a organização de recursos para melhorias da saúde da população atendida.

2. Descrição e caracterização do conjunto de dados

Foram avaliados dados referentes a agendamentos e atendimentos do serviço público de saúde da cidade de São Paulo (SP)¹ apurados durante os anos de 2014 e 2015, distribuídos em três blocos distintos, conforme descrição mostrada na Tabela 1. Inicialmente foram selecionados os atributos relevantes para a caracterização das principais entidades que atuam nesta rede, a saber: *Paciente*; *Unidade de Saúde*; *Tipo de Serviço*; e *Profissional de Saúde*. Foram avaliados também atributos referentes aos *Diagnósticos e Procedimentos*, pois estes serão importantes em um futura qualificação dos relacionamentos. Posteriormente, foi verificada a integridade dos registros com relação a tais atributos.

Tabela 1. Descrição dos *datasets* avaliados.

Dataset	# Registros	# Atributos por registro	# Registros válidos
Agendamento	6.160.394	24	89,6 %
Atendimento com diagnóstico	30.984.034	17	98,4%
Atendimento com procedimento	27.560.982	18	100%

Foram identificados **6.567.257 pacientes distintos**, o que é primordial para acompanhar o fluxo de atendimentos desses pacientes através dos serviços disponíveis. Nesse sentido, foi avaliada a distribuição dos registros válidos.² Identificamos alguns *outliers* (Figura 2(a)), porém a maior parte dos pacientes apresenta um comportamento esperado (Figura 2(b)), sinalizando para a integridade do atributos de distinção dos pacientes.

Com relação às unidades de saúde, foram avaliados: *nome*, *tipo* e *localização*. Identificamos **1006 unidades** agrupadas em **30 tipos de serviço**. Quanto aos agendamentos, são as *Unidades Básicas de Saúde (UBS)* as maiores solicitantes (85%), sendo a

¹Utilização dos dados aprovada pelo Comitê de Ética e Pesquisa (CAAE: 51038515.6.3001.0086).

²Entenda-se por registro válido aquele no qual é possível distinguir unicamente um paciente.

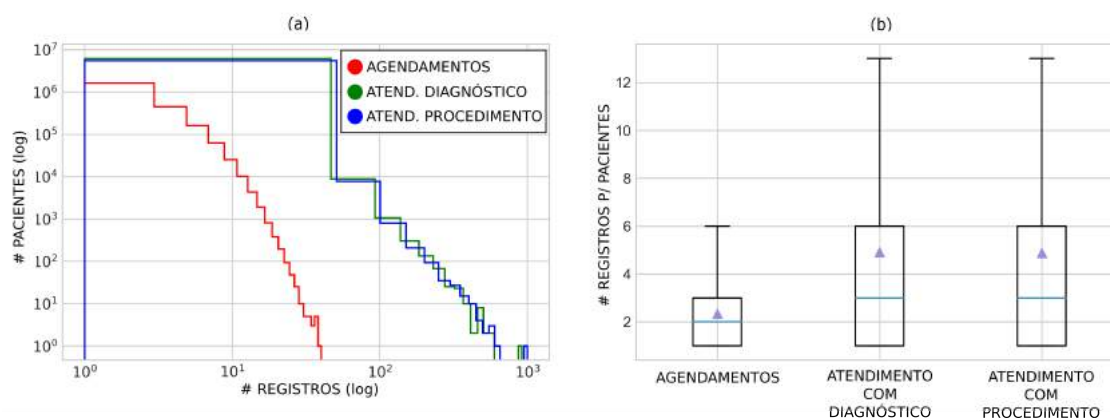


Figura 2. Frequência dos registros e distribuição por pacientes.

maior parte destes (29%) direcionados aos Ambulatórios de Especialidades, o que pode ser um sinalizador de que o direcionamento do paciente é realizado pela UBS. Verificamos também que algumas poucas unidades concentram um maior número de registros, que pode ser um sinalizador de *hubs* na rede. O agrupamento da demanda pelo tipo de serviço pode auxiliar na busca de um modelo que venha a refletir tal aspecto. Nos dados observados, os serviços são estruturados em **4 níveis organizacionais**, que possibilitará mensurar o fluxo dos paciente em vários níveis de granulosidade espaço-temporal.

Os dados de atendimentos trazem o Código Brasileiro de Ocupação (CBO)³ e a descrição da classe dos **profissionais de saúde** que assistiram o paciente, distribuídos em **152 tipos de profissionais**. Apenas 2% dos registros não tem identificação de CBO. Essa informação irá auxiliar na distinção das unidades que, apesar de serem de um mesmo tipo, podem não ser compostas por equipes similares. A Figura 3 traz os 8 tipos de profissionais que mais prestaram assistência aos pacientes no período avaliado.

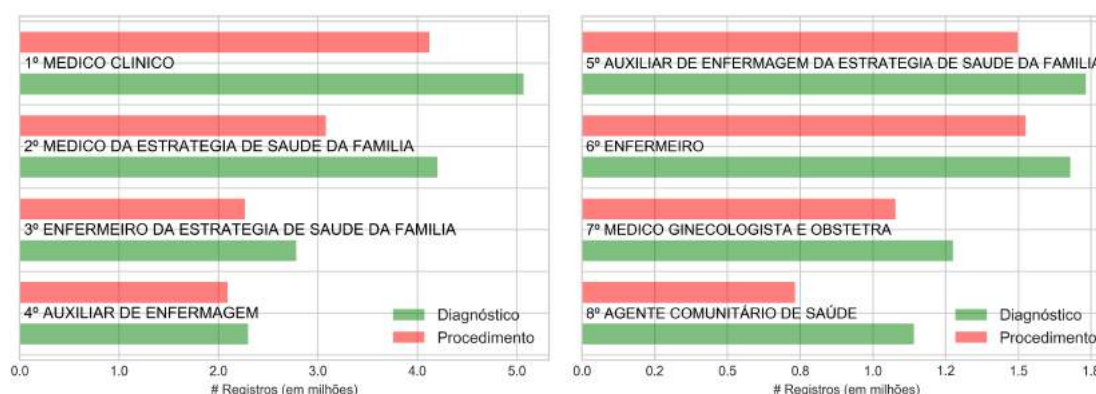


Figura 3. Frequência de atendimentos por tipo de profissional.

Os blocos de registro de atendimentos distinguem-se entre atendimentos com diagnóstico e com procedimento, porém estes tem relação entre si, fato perceptível na Figura 2(a). Futuramente burcar-se-á estabelecer tal relação através dos dados em comum, de forma a consolidar os dados de atendimento em um único bloco de dados.

³CBO: <http://www.mteco.gov.br/cbosite/pages/home.jsf>

O primeiro bloco apresenta o Código Internacional de Doenças (CID-10)⁴ e a indicação do **diagnóstico** identificado. Apesar de 83,8% dos registros não estarem com diagnóstico identificado, a base conta com **9116 diagnósticos distintos** e entre os diagnósticos mais frequentes estão **Infecção Aguda das Vias Aéreas Superiores (J06.9)** e **Hipertensão Primária (I10)**. Para melhorar a classificação, poderão ser utilizados os capítulos da CID-10, gerando melhores agrupamentos sobre o perfil dos pacientes. No outro bloco é disponibilizado nome e código do procedimento realizado, código este referente à tabela do Sistema de Gerenciamento da Tabela de Procedimentos, Medicamentos e OPM do SUS (SIGTAP).⁵ Esse bloco conta com **1000 procedimentos distintos**, sendo que 7,84% destes estão sinalizados com a *tag* “NÃO SE APLICA” e o mais registrado foi a **Consulta Médica em Atenção Primária (03.01.01.0064A)**. Ambos atributos dão suporte para a definição do perfil do paciente e espera-se que pacientes com perfis semelhantes atravessem fluxos equivalentes. Apesar da má distribuição da amostra com relação a tais pontos, seus códigos permitem que sejam realizadas classificações com maior generalidade e melhor distribuição das amostras, em diferentes níveis.

3. Considerações finais

O objetivo de nosso projeto de forma mais ampla é a análise do fluxo de atendimento de pacientes em serviços de saúde com base na teoria de redes complexas. O presente artigo descreve nossos primeiros passos nessa direção, já trazendo como contribuição resultados preliminares acerca da caracterização de atendimentos considerando dados de uma grande e representativa rede de atenção à saúde. Para a continuidade do trabalho, visamos o estudo do fluxo de atendimento dos pacientes para a identificação de padrões relevantes, a melhoria na alocação dos recursos e a promoção de melhor serviço à população.

Referências

- Barnett, M. L., Landon, B. E., O'Malley, A. J., Keating, N. L., and Christakis, N. A. (2011). Mapping physician networks with self-reported and administrative data. *Health Services Research*, 46(5):1592–1609.
- Findlay, M. and Grant, H. (2011). An application of discrete-event simulation to an outpatient healthcare clinic with batch arrivals. In *Proc. of the IEEE Winter Simulation Conference (WSC)*, pages 1166–1177.
- Ito, M., Moyano, L. G., Appel, A. P., and Santana, V. F. (2016). Análise do relacionamento na comunidade de médicos de seguradoras de saúde. In *Anais do XV Congresso Brasileiro de Informática em Saúde (CBIS)*.
- Pollack, C. E., Weissman, G. E., Lemke, K. W., Hussey, P. S., and Weiner, J. P. (2013). Patient sharing among physicians and costs of care: A network analytic approach to care coordination using claims data. *Journal of General Internal Medicine*, 28(3):459–465.
- Thorwarth, M. and Arisha, A. (2012). A simulation-based decision support system to model complex demand driven healthcare facilities. In *Proc. of the IEEE Winter Simulation Conference (WSC)*, page 90.

⁴CID-10: <http://apps.who.int/classifications/icd10/browse/2016/en>

⁵SIGTAP: <http://sigtap.datasus.gov.br>

Recuperação de Nódulos Pulmonares por Conteúdo: uma abordagem *Radiomics* em Pesquisa Reprodutível

Marcelo Costa Oliveira¹, David Jones Ferreira de Lucena¹, Ailton Felix¹

¹Instituto de Computação – Universidade Federal de Alagoas (UFAL)
Campus A.C. Simões - Av. Lourival Melo Mota, s/n, 57072-970 – Maceió – AL – Brasil

{oliveiramc,davidjones,aflf}@ic.ufal.br

Abstract. *Early diagnosis and treatment of lung cancer are effective forms of ensure the patient's life. However, the detection and classification of lung nodules are challenging tasks for the specialists, because the nodules are small and have low contrast. The purpose of this work was to evaluate the precision of the 3D Shape and 3D Intensity attributes associated with Margin Sharpness and 3D Texture attributes available in a reproducible research context. The attributes created a 66-dimensional Radiomics vector that was applied to the content-based image retrieval. The algorithm showed precision of the 0.841 and 0.803 in the retrieval of benign and malignant nodules, respectively.*

Resumo. *O diagnóstico e o tratamento precoce do câncer de pulmão são formas efetivas de garantir a vida dos pacientes. Contudo, a detecção e classificação dos nódulos pulmonares são tarefas desafiadoras aos especialistas, pois os nódulos são pequenos e apresentam baixo contraste. O objetivo deste trabalho foi avaliar a precisão dos atributos de Forma 3D e Intensidade 3D associados a atributos de Textura 3D e Nitidez de Borda disponíveis no contexto de pesquisa reprodutível. Os atributos formaram um vetor Radiomics de 66 dimensões e foram aplicados à recuperação de imagens por conteúdo. O resultado da precisão do algoritmo foi de 0,841 e 0,803 na recuperação de nódulos benignos e malignos, respectivamente.*

1. Introdução

O câncer é caracterizado como um crescimento anormal de células que invadem e destroem os seus tecidos vizinhos. Diante da estimativa de mais de 600 mil novos casos estimados para 2016, o câncer compreende a segunda maior causa de morte da população brasileira. Segundo dados do Instituto Nacional do Câncer (INCA) [INCA 2016], são estimados 17.330 novos casos de câncer de pulmão (CP) para o ano de 2016 .

O CP é uma doença agressiva em que geralmente a presença de sintomas é um sinal de prognóstico ruim. A taxa de sobrevivência de um paciente com CP diagnosticado após cinco anos é de apenas 15%. Porém, a identificação de nódulos malignos logo no início da doença garante ao paciente uma taxa de sobrevivência de 49%. Entretanto, o diagnóstico do câncer de pulmão é uma tarefa complexa e apresenta três grandes desafios: interpretar as imagens, identificar as lesões e classificar os nódulos. Ainda, imagens médicas são extremamente complexas por natureza, e o processo de interpretação de imagens é um desafio reconhecido mesmo para radiologistas experientes. Logo, é importante o uso

de ferramentas de auxílio computadorizado ao diagnóstico (CAD) com o objetivo de melhorar tanto a acurácia diagnóstica quanto a consistência na interpretação do diagnóstico por imagens do CP [Kuruvilla and Gunavathi 2014].

A recuperação de imagens baseada em conteúdo (CBIR) tem sido descrita como uma potencial ferramenta CAD, pois é capaz de auxiliar o processo de decisão clínica, recuperando em grandes bases de dados, casos similares já diagnosticados pertencentes à mesma modalidade, região anatômica e com alterações estruturais provocadas por determinadas doenças. Sistemas CAD baseados em CBIR podem ser muito úteis em um ambiente clínico real, pois podem auxiliar o radiologista na tomada de decisão diagnóstica, ou aumentar sua certeza, valendo-se de um modelo de decisão baseada em exemplo. Por exemplo, se um caso desconhecido for considerado muito similar a um caso já diagnosticado como maligno, o radiologista terá mais confiança na decisão diagnóstica do caso desconhecido em maligno [Oliveira and Ferreira 2013]. Um dos desafios no desenvolvimento das aplicações de CBIR é definir métodos de extração de atributos efetivos e eficientes para representar as imagens.

Radiomics é um conceito recente para a extração e análise em larga escala de atributos quantitativos obtidos a partir de imagens médicas usando avançados algoritmos matemáticos. O objetivo é revelar as características das lesões que podem passar despercebidas se analisadas a olho nú [Gillies et al. 2016]. O uso da abordagem *radiomics* permite avaliar e diagnosticar o câncer de forma objetiva, pois atribui às características das imagens valores quantitativos, diminuindo significativamente o problema da variabilidade intra/inter-observador e melhorando a acurácia no diagnóstico quando comparado às estratégias qualitativas de avaliação do câncer [Kumar et al. 2015].

Em [Ferreira Junior et al. 2016a] os autores propuseram uma base para a pesquisa reprodutível de nódulos malignos e benignos composta por 1944 nódulos associados a atributos *radiomics* de Textura e Nitidez de Borda. Entretanto, a base proposta pelos autores não possui atributos capazes de caracterizar a intensidade e a forma, que é uma das principais características utilizadas pelo radiologista durante o diagnóstico de nódulos pulmonares. Logo, o objetivo deste trabalho foi desenvolver os atributos de forma 3D e intensidade 3D, e avaliar a precisão destes algoritmos quando inseridos ao vetor de atributos *radiomics* proposto em [Ferreira Junior et al. 2016a] no contexto de pesquisa reprodutível.

2. Metodologia

Uma visão geral da arquitetura usada neste trabalho pode ser vista na Figura 1. Neste trabalho foi utilizado o banco de dados de nódulos pulmonares público desenvolvido por Ferreira Junior [Ferreira Junior et al. 2016a], este banco é voltado para a pesquisa reprodutível e contém imagens do Lung Image Database Consortium (LIDC) (Seção 2.1).

A segmentação manual dos nódulos foi realizada pelos especialistas do LIDC. Deses nódulos segmentados foram extraídos os atributos *radiomics* de Textura 3D, Nitidez de Borda, Intensidade 3D e Forma 3D (Seção 2.2). Após a extração de atributos, foi realizada a análise de similaridade dos nódulos pulmonares dentro do conceito da CBIR.

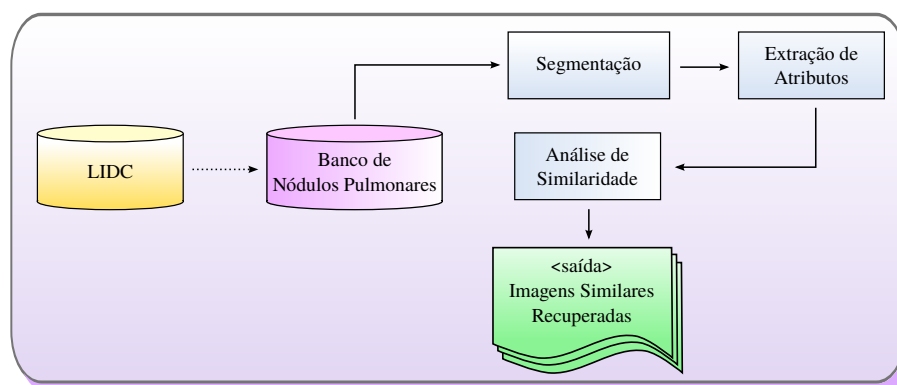


Figura 1. Visão geral da arquitetura CBIR.

2.1. Banco de Nódulos Pulmonares

O LIDC [Armato et al. 2011] é um repositório formado por imagens de Tomografia Computarizada (TC) de câncer de pulmão com lesões identificadas e classificadas por quatro radiologistas em um processo de interpretação de imagem que requereu dos especialistas a análise das imagens e marcação das lesões usando uma interface gráfica. Os nódulos identificados foram classificados pelos radiologistas de acordo com algumas características subjetivas, entre elas a probabilidade de malignidade, de acordo com as seguintes condições:

- Malignidade 1: probabilidade alta para ser benigno;
- Malignidade 2: probabilidade moderada para ser benigno;
- Malignidade 3: probabilidade indeterminada;
- Malignidade 4: probabilidade moderada para ser maligno;
- Malignidade 5: probabilidade alta para ser maligno.

O LIDC é uma coleção não organizada em esquema de banco de dados, assim, não existe correlação entre imagens, dados dos exames e classificação dos nódulos pelos radiologistas. Além disso, o LIDC não contém informações a respeito do tamanho do nódulo ou atributos das imagens. Logo, optamos por usar o Banco de Nódulos Pulmonares (BNP) desenvolvido por Ferreira Junior et al. [Ferreira Junior et al. 2016a]. Este banco utiliza uma abordagem NoSQL orientado a documentos com o MongoDB, onde todas as imagens das lesões foram manualmente segmentadas usando as marcações realizadas pelos radiologistas e então armazenadas no banco de dados. Esta característica permitiu fácil acesso as imagens contendo apenas as lesões na etapa de extração de atributos. O BNP possui 752 exames e 1944 nódulos pulmonares do LIDC nas cinco classificações de malignidade.

Neste trabalho nódulos com probabilidades de malignidade 1 e 2 foram considerados benignos, e nódulos com probabilidades de malignidade 4 e 5, malignos. Porém, nódulos com probabilidade de malignidade 3 foram desconsiderados, pois possuem probabilidade de malignidade indeterminada. Ao término destes recortes, a quantidade de nódulos benignos superou de forma excessiva a quantidade de nódulos benignos. Assim, foi realizada uma distribuição equânime da quantidade de nódulos benignos e malignos com o objetivo de avaliar os resultados da CBIR utilizando uma base balanceada (Tabela 1).

2.2. Extração de Atributos

A combinação de diferentes categorias de atributos é bastante comum em aplicações reais para se alcançar uma melhor acurácia na classificação [Wu and He 2015]. Portanto, neste trabalho foram usadas quatro categorias de atributos de imagem: Análise de Textura 3D (AT) e Análise de Nitidez de Borda (ANB), disponível no BNP; e os atributos desenvolvidos neste trabalho, Atributos de Intensidade 3D e Forma 3D.

No BNP cada nódulo possui um vetor de AT 3D de dimensão 32 obtido a partir da matriz de coocorrência [Ferreira Junior et al. 2016a]. Os atributos desenvolvidos pelo autor foram: Energia, Entropia, Momento da Diferença Inverso, Matiz, Contraste, Proeminência, Correlação e Variância, considerando quatro orientações angulares. Todos os nódulos também estão associados aos atributos do ANB 3D. Para obter estes atributos os autores desenharam linhas perpendiculares sobre todas as bordas das fatias dos nódulos e armazenaram a intensidade dos pixels dessas linhas em um simples array ordenado. Os atributos utilizados pelo autor foram: Diferença entre os extremos, Soma dos valores, Soma dos quadrados, Soma dos logs, Média geométrica, Variância da população, Variância da amostra, Desvio padrão, Medida de kurtosis, Medida de skewness e Segundo momento central. Cada nódulo foi caracterizado com um vetor de atributos ANB com 12 dimensões.

Os atributos de Análise de Intensidade 3D (AI) e Análise de Forma 3D (AF) foram desenvolvidos neste trabalho usando linguagem de programação JAVA versão 1.8. Os atributos de Análise de Intensidade 3D desenvolvidos neste trabalho foram propostos por [Nowik 2013]. Para cada nódulo foi associado um vetor de atributos com dimensão 14 obtido a partir das fatias do nódulo. Os atributos de Análise de Intensidade 3D desenvolvidos estão listados nas equações de 1 a 14.

	Benigno		Maligno		
Probabilidade de Malignidade	1	2	4	5	Total
Número de Nódulos	32	32	32	32	128
Soma	64		64		

Tabela 1. Distribuição balanceada entre nódulos benignos e malignos após desconsiderar a probabilidade de malignidade 3.

Aerts [Aerts et al. 2014] propôs oito atributos de análise de forma 3D que foram adaptados e implementados neste trabalho. Segundo [Brandman 2011], o tamanho do nódulo é um importante indicativo da sua malignância. Logo, consideramos neste trabalho o diâmetro do nódulo como atributo de forma, assim cada nódulo foi associado a um vetor de AF de nove dimensões. Além do diâmetro, os atributos implementados foram Compacidade (1 e 2), Desproporção esférica, Esfericidade, Área, Área da superfície, Relação superfície-volume e Volume, listados nas equações 15 a 23.

$$\text{Energia} = \sum_i^n x_i^2, \quad (1)$$

$$\text{Intensidade média } (\bar{x}) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (2)$$

$$\text{Intensidade mediana}, \quad (3)$$

$$\text{Intensidade mínima } (I_m), \quad (4)$$

$$\text{Intensidade máxima } (I_M), \quad (5)$$

$$\text{Entropia} = - \sum_{k=1}^N p(x_k) \log_2(p(x_k)), \quad (6)$$

$$\text{Kurtosis} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4}{(n-1)s^4}, \quad (7)$$

$$\text{Skewness} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{(n-1)s^3}, \quad (8)$$

$$\text{Desvio médio absoluto} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|, \quad (9)$$

$$\text{Range} = |I_M - I_m|, \quad (10)$$

$$\text{Raiz quadrada média} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n}}, \quad (11)$$

$$\text{Desvio padrão} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad (12)$$

$$\text{Uniformidade} = \sum_{k=1}^N p(x_k)^2, \quad (13)$$

$$\text{Variância} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2, \quad (14)$$

onde x_i é o i -ésimo valor de intensidade da imagem; s é o desvio padrão da intensidade; n é o número de pixels na região; e $p(x_k)$ a probabilidade de ocorrência do k -ésimo valor de intensidade em um conjunto de N intensidades.

$$\text{Compacidade 1} = \frac{V}{\sqrt{\pi} A^{\frac{2}{3}}}, \quad (15)$$

$$\text{Compacidade 2} = 36\pi \frac{V^2}{A^3}, \quad (16)$$

$$\text{Desproporção esférica} = \frac{A}{4\pi R^2}, \quad (17)$$

$$\text{Esfericidade} = \frac{\pi^{\frac{1}{3}}(6V)^{\frac{2}{3}}}{A}, \quad (18)$$

$$\text{Área } (A_1) = \sum_{i \in f} p_i, \quad (19)$$

$$\text{Área da Superfície } (A_2) = 4\pi R^2, \quad (20)$$

$$\text{Ralação superfície-volume} = \frac{A}{V}, \quad (21)$$

$$\text{Volume } (V) = \left(\sum_{f \in F} \sum_{i \in f} p_i \right) \cdot \text{Esp}, \quad (22)$$

onde f representa o conjunto de pixels (p) delimitados pelas coordenadas cartesianas da segmentação do nódulo; F é o conjunto de todas as fatias do nódulo; Esp corresponde ao valor da espessura das fatias; para os atributos em função da área A , tanto A_1 quanto A_2 pode ser usado, devido a abordagem do autor; para os atributos em função de um valor de raio (R), o mesmo foi definido como segue:

$$\text{Raio } (R) = \sqrt[3]{\frac{3V}{4\pi}} \quad (23)$$

2.3. Métrica de similaridade e Avaliação da Precisão

Cada atributo extraído possui o seu próprio intervalo de valores e que não são necessariamente coincidentes. Para utilizar métricas de similaridades baseadas em distância, faz-se necessária a normalização da base para que todos os dados se localizem em um intervalo de valores específico [Ferreira de Lucena et al. 2016]. O método de normalização aplicado neste trabalho foi a Normalização Estatística (Transformação Z).

Segundo [Akgül et al. 2010], o método mais comum para avaliar a eficiência de um sistema de recuperação da informação é analisar a Precisão e Revocação. Precisão é a proporção de objetos recuperados que são relevantes para a consulta. Revocação indica a proporção de objetos relevantes na base de dados que foram recuperados ao responder uma consulta. Entretanto, é de grande valiar mensurar a precisão de um sistema de CBIR também na recuperação dos primeiros casos retornados, ou seja, aqueles que estão nas posições iniciais do ranking de similaridade. Dado que os primeiros casos recuperados

(mais similares) são os que terão maior influência no diagnóstico do especialista. Para isso, a métrica utilizada é conhecida como Precisão(N), onde N é o número de casos retornados. [Müller et al. 2004].

Para avaliar a Precisão(N) da recuperação feita com com nódulos representados através dos atributos citados anteriormente, foi utilizada a técnica LOO (Leave-One-Out) sobre a base de nódulos. Esta técnica consiste em utilizar todos os nódulos da base como referência para recuperação selecionando um por vez para obter o nódulo de referência. Ou seja, no caso da base de nódulos selecionada neste trabalho, foram feitas 128 iterações de recuperação e calculada a Precisão(N) da recuperação. A cada iteração, um nódulo diferente da base foi selecionado como referência e os demais foram utilizados para medir a distância para a referência e, com isso, constituir o ranking de similaridade. A similaridade entre os nódulos da base em relação ao nódulo de referência foi obtida através do cálculo da Distância Euclidiana medida entre os seus vetores de atributos radiomics. Assim, quanto menor a distância, ou seja, quanto mais próximo de zero, mais similar são os nódulos.

Os testes foram realizados segundo os seguintes critérios: (1) foram executadas 128 rodadas de recuperação de imagens, considerando os nódulos da base (64 benignos e 64 malignos); (2) a cada rodada foi selecionado um nódulo de referência por meio da técnica LOO; (3) os nódulos recuperados foram ordenados de acordo com a menor Distância Euclidiana em relação ao nódulo de referência da rodada; (4) a precisão da CBIR foi avaliada levando em consideração a ordem dos nódulos resultantes do processo de recuperação, para isso foi calculada a média da Precisão(N) das 64 iterações de recuperação na recuperação dos nódulos benignos e, da mesma forma, a média da Precisão(N) das 64 iterações de recuperação na recuperação dos nódulos malignos considerando, sempre considerando os 10 primeiros resultados (Precisão(10)).

3. Resultados e Discussão

A Figura 2 apresenta os resultados da recuperação P(10) dos nódulos benignos e malignos. Os resultados de precisão foram obtidos a partir da integração dos atributos desenvolvidos neste trabalho com os atributos disponibilizados no BNP (AT e ANB). A média de precisão para o dez primeiros nódulos malignos foi de $0,803 \pm 0,23$ e para os benignos de $0,841 \pm 0,19$. Ao avaliarmos o potencial dos atributos integrados no processo de decisão do especialista, considerando os três primeiros casos, a precisão obtida foi de $0,890 \pm 0,20$ na recuperação de nódulos malignos e $0,911 \pm 0,18$ para nódulos benignos.

A diferença de 6,87% da precisão da CBIR entre os nódulos benignos e malignos sugere que alguns atributos foram capazes de caracterizar de maneira mais eficiente o potencial benigno. Em nossos testes preliminares verificamos que devido a forma espicular do nódulo maligno, a caracterização da forma é um desafio, principalmente em nódulos precoces (<10mm), inclusive dificultando o processo de segmentação manual. Ainda, segundo [Ferreira Junior et al. 2016b], o atributo de proeminência da textura é um forte atributo de caracterização do nódulo benigno.

A tabela 2 apresenta a precisão dos resultados entre P(1) a P(10) dos nódulos malignos obtidos neste trabalho (segunda coluna) e os confronta com os resultados de precisão de outros atributos publicados na literatura. Para garantir uma comparação justa com as outras avaliações, o primeiro nódulo recuperado P(1) de outros trabalhos foi com-

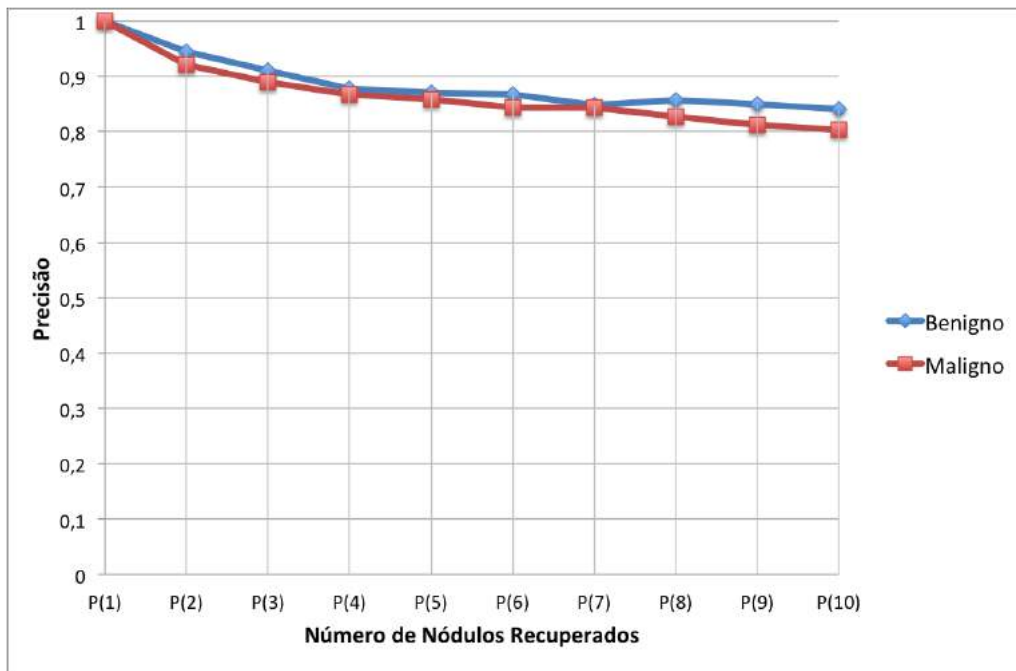


Figura 2. Precisão dos atributos integrados na recuperação dos primeiros dez nódulos similares.

parado com o segundo nódulo recuperado P(2) do nosso trabalho, visto que o primeiro nódulo recuperado neste trabalho é sempre o caso de referência. Ainda, comparamos os resultados da literatura com a nossa menor precisão média P(10), que foi a obtida na recuperação dos nódulos malignos.

Ao comparamos os nossos resultados com [Ferreira Junior et al. 2016b] verificamos que os atributos desenvolvidos neste trabalho (AI e AF) aumentaram a precisão (P10) em 8,0 pontos percentuais quando integrados aos atributos propostos pelo autor. Nossos resultados em P(10) também foram superiores quando comparados ao Atributo de Markov (43%), Filtro de Gabor (38%) e Registro de Imagem (10%). Esta comparação reforça a importância em utilizar os atributos de forma integrada, segundo o conceito *radiomics*.

4. Conclusão

Este trabalho apresentou a avaliação da precisão de um vetor de atributos composto por 66 atributos *radiomics* obtidos a partir da textura, borda, forma e intensidade do nódulo. A precisão foi avaliada na recuperação dos dez primeiros casos, pois é a forma como a CBIR tem maior potencial de auxiliar o especialista no diagnóstico.

Os resultados evidenciaram a importância em integrar os atributos, mesmo sem realizar uma seleção de características obtivemos precisão de 0,841 e 0,803 na recuperação de nódulos benignos e malignos, respectivamente.

Neste trabalho evidenciamos a importância da pesquisa reprodutível, pois ao integrarmos os atributos desenvolvidos por [Ferreira Junior et al. 2016a] (AT e ANB) aos atributos desenvolvidos neste trabalho conseguimos aumentar a precisão da recuperação de nódulos pulmonares malignos em 8%. Também confrontamos os nossos resultados com atributos publicados na literatura para a recuperação de nódulos pulmonares. A pre-

COMPARAÇÃO DE EFICIÊNCIA						
<i>Nódulos Recuperados</i>	Proposto	Atributos AT e ANB	<i>Atributos Haralick</i>	<i>Atributos Markov</i>	<i>Filtros Gabor</i>	<i>Registro de Imagem</i>
1	0,92	0,85	0,29	0,89	0,88	–
2	0,89	0,80	0,23	0,82	0,81	–
3	0,86	0,78	0,21	0,72	0,73	–
4	0,85	0,76	–	–	–	–
5	0,85	0,75	0,18	0,52	0,57	–
6	0,84	0,74	–	–	–	–
7	0,84	0,73	–	–	–	–
8	0,82	0,72	–	–	–	–
9	0,81	0,72	–	–	–	–
10	0,80	0,72	0,15	0,37	0,42	0,7

Tabela 2. Comparação da precisão média P(10) dos atributos integrados proposto neste trabalho com atributos publicados na literatura [Ferreira Junior et al. 2016b].

cisão dos atributos integrados superou os atributos de Markov em 43,9%, Filtro de Gabor em 35,66% e Registro de Imagem em 10%. Contudo, os atributos desenvolvidos (AF e AI) não promoveram um aumento da precisão na recuperação dos nódulos benignos ao compararmos com [Ferreira Junior et al. 2016b]. Ainda, acreditamos que o desvio padrão de $\pm 0,17$ e $\pm 0,19$ na precisão de nódulos benignos e malignos, respectivamente, seja resultado da dificuldade do especialista em segmentar manualmente nódulos menores que 10mm, o que compromete a precisão dos atributos de forma na caracterização do nódulo. Uma outra problemática da base, são os nódulos não sólidos, onde aplicar os atributos de Intensidade para a caracterização dos nódulos é um desafio. Logo, é necessário realizar futuros experimentos para avaliar a eficiência dos atributos na caracterização dos nódulos.

A precisão dos atributos desenvolvidos neste trabalho foi obtida usando um banco de dados de nódulos pulmonares disponível publicamente, o que permitiu a pesquisa reprodutível e a validação cruzada entre atributos. Utilizar uma mesma base de imagens permitiu comparar os resultados de maneira mais fidedigna do que utilizando uma outra base de imagens, garantindo assim consistência na comparação dos resultados. Portanto, encorajamos que outros autores utilizem o BNP para testes e publiquem os seus atributos dentro do conceito de pesquisa reprodutível, avançando o estado-da-arte da aplicação *radiomics* na classificação de nódulos pulmonares.

Referências

- Aerts, H. J. W. L., Velazquez, E. R., Leijenaar, R. T. H., Parmar, C., Grossmann, P., Cavalho, S., Bussink, J., Monshouwer, R., Haibe-Kains, B., Rietveld, D., Hoebbers, F., Rietbergen, M. M., Leemans, C. R., Dekker, A., Quackenbush, J., Gillies, R. J., and Lambin, P. (2014). Decoding tumour phenotype by noninvasive imaging using a quantitative radiomics approach. In *Nature communications*, volume 5, n. 4006, pages 1–8.
- Akgül, C. B., Rubin, D. L., Napel, S., Beaulieu, C. F., Greenspan, H., and Acar, B. (2010).

- Content-based image retrieval in radiology: Current status and future directions. *Journal of Digital Imaging*, 24(2):208–222.
- Armato, S. G., McLennan, G., Bidaut, L., et al. (2011). The lung image database consortium (lidc) and image database resource initiative (idri): A completed reference database of lung nodules on ct scans. *Medical Physics*, 38(2):915–931.
- Brandman, Scott MD; Ko, J. P. M. (2011). Pulmonary nodule detection, characterization, and management with multidetector computed tomography. *Journal of Thoracic Imaging*, 26(2):90–105.
- Ferreira de Lucena, D. J., Ferreira Junior, J. R., Machado, A. P., and Oliveira, M. C. (2016). Automatic weighing attribute to retrieve similar lung cancer nodules. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, 16(2):79.
- Ferreira Junior, J. R., Oliveira, M. C., and de Azevedo-Marques, P. M. (2016a). Cloud-based nosql open database of pulmonary nodules for computer-aided lung cancer diagnosis and reproducible research. *Journal of Digital Imaging*, pages 1–14.
- Ferreira Junior, J. R., Oliveira, M. C., and de Azevedo-Marques, P. M. (2016b). Integrating 3d image descriptors of margin sharpness and texture on a gpu-optimized similar pulmonary nodule retrieval engine. *The Journal of Supercomputing*, pages 1–17.
- Gillies, R. J., Kinahan, P. E., and Hricak, H. (2016). Radiomics: Images are more than pictures, they are data. *Radiology*, 278(2):563–577. PMID: 26579733.
- INCA (2016). Instituto nacional de câncer. last accessed 22-09-2016.
- Kumar, D., Shafiee, M. J., Chung, A. G., Khalvati, F., Haider, M. A., and Wong, A. (2015). Discovery radiomics for computed tomography cancer detection. *CoRR*, abs/1509.00117.
- Kuruvilla, J. and Gunavathi, K. (2014). Lung cancer classification using neural networks for {CT} images. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 113(1):202 – 209.
- Müller, H., Michoux, N., Bandon, D., and Geissbuhler, A. (2004). A review of content-based image retrieval systems in medical applications—clinical benefits and future directions. *International Journal of Medical Informatics*, 73(1):1 – 23.
- Nowik, S. D. K. (2013). *The use of surrounding lung parenchyma for the automated classification of pulmonary nodules*. Ms (master of science) thesis, University of Iowa.
- Oliveira, M. C. and Ferreira, J. R. (2013). A bag-of-tasks approach to speed up the lung nodules retrieval in the bigdata age. In *e-Health Networking, Applications Services (Healthcom), 2013 IEEE 15th International Conference on*, pages 632–636.
- Wu, H. and He, L. (2015). Combining visual and textual features for medical image modality classification with ℓ_p -norm multiple kernel learning. *Neurocomputing*, 147:387 – 394. Advances in Self-Organizing Maps Subtitle of the special issue: Selected Papers from the Workshop on Self-Organizing Maps 2012 (WSOM 2012).

Mineração de tópicos e aspectos em microblogs sobre Dengue, Chikungunya, Zika e Microcefalia

Mateus Tarcinalli Machado^{1,3,4}, Jéssica Caroline Alves Nunes Temporal⁵,
Thiago Alexandre Salgueiro Pardo^{2,4}, Evandro Eduardo Seron Ruiz^{3,4},

¹ Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada

² Departamento de Ciências de Computação, ICMC

³ Departamento de Computação e Matemática, FFCLRP

⁴ Universidade de São Paulo (USP), Brasil

⁵ Data Science Brigade, <https://datasciencebr.com>

jessicatemporal@gmail.com, {mateusmachado, evandro}@usp.br

taspardo@icmc.usp.br

Abstract. *The proper analysis of opinion texts, as those posted on microblogs and social networks, includes the identification of the topic that is commented by the author of the text. The analysis of the topics may be carried out by a set of techniques for finding what we call ‘aspect terms’. This paper shows how the identification of aspect terms in microblogs written in Portuguese may be achieved with frequency-based methods and word vector representation approaches (word2vec). We have obtained a list of n-grams that we believe are adequate indicators of the topics commented by the users. We focus our work on texts related to Dengue, Chikungunya and Zika diseases, as well as Microcephaly, which represent serious threats nowadays.*

Resumo. *A correta análise de textos opinativos, incluindo aqueles postados em microblogs e redes sociais, passa pela identificação do tópico comentado pelo autor do texto. A análise dos tópicos pode ser realizada por um conjunto de técnicas para a identificação do que chamamos de ‘termos de aspectos’. Neste artigo, mostramos como a identificação de termos de aspectos em microblogs em Português pode ser alcançada por métodos baseados em frequência e pela representação vetorial de palavras (word2vec). Obtivemos uma lista de n-gramas que acreditamos que sejam indicadores adequados dos tópicos comentados. Focamos nosso trabalho em textos sobre Dengue, Chikungunya e Zika, assim como Microcefalia, que atualmente são sérias ameaças à saúde.*

1. Introdução

Atualmente, as redes sociais apresentam-se como ferramentas de amplo acesso para a produção de conteúdo opinativo sobre assuntos variados [Cataldi et al. 2010]. Consequentemente, a análise do conteúdo destes textos sobre os mais diversos temas, como economia [Bollen et al. 2011], política [Tumasjan et al. 2010] e saúde [Moorhead et al. 2013, Almansa et al. 2014], tem sido objeto de interesse da área

de Processamento de Linguagem Natural (PLN), mais especificamente das áreas de Análise de Sentimentos (AS) e mineração de opiniões.

A análise textual tem sido utilizada para determinar quais aspectos de produtos ou serviços os usuários estão elogiando ou desaprovando. Como produtos e serviços populares podem receber centenas de comentários, tanto nos sites especializados como também nas redes sociais, a análise automatizada dos sentimentos e da opinião expressa nestes textos tem se tornado um tópico de interesse crescente na pesquisa acadêmica [Hu and Liu 2004a, Hu and Liu 2004b].

A literatura científica documenta o uso de métodos de processamento de textos para analisar, principalmente, duas questões fundamentais em textos opinativos, que são a identificação do tópico comentado e do sentimento associado a este tópico.

A identificação do tópico (ou assunto) comentado é um problema reconhecida-mente importante na área de PLN, que pode ser tratado pela tarefa de “extração de aspecto” (EA) [Cataldi et al. 2010]. Cabe ressaltar que o problema de EA transcende a variabilidade de mídias. Em artigo recente, Gandomi e Haide [Gandomi and Haider 2015] citam a importância da pesquisa em EA para facilitar a localização, em textos médicos, de referências a medicamentos, drogas, doenças, entre outros.

O presente artigo procura analisar alguns dos tópicos de saúde que são mais comentados na plataforma de microblogs Twitter no Brasil. Mais especificamente, analisaremos quais os tópicos comentados sobre as doenças Dengue, Chikungunya e Zika, assim como Microcefalia, que são grandes ameaças à saúde atualmente. Acreditamos que os termos utilizados para se referir aos aspectos relacionados a esses problemas de saúde constituem tópicos relevantes nos textos. Por exemplo, no *tweet* “*essa dengue tá me matando*”, esperamos identificar o termo ‘dengue’ como o aspecto de referência neste comentário. Tal iniciativa, se aplicada em larga escala sobre os comentários publicados na web e com precisão suficiente, pode permitir a identificação e rastreamento de epidemias emergentes e a reação apropriada de órgãos de saúde, sendo uma contribuição real para a sociedade.

2. Trabalhos relacionados

Em trabalho anterior deste grupo [Almansa et al. 2014], analisamos os textos postados na plataforma de microblogs Twitter, *tweets*, durante a Campanha Nacional de Vacinação contra a Gripe em 2014. Neste estudo, categorizamos os *tweets* em três eixos distintos, ou seja, sobre o conteúdo, sobre a qualificação e os *tweets* que apontavam para outras URLs. No entanto, não pudemos discernir nestes comentários quais aspectos eram preponderantes nas postagens, por exemplo, se eram comentários sobre a vacina ou sobre o processo de vacinação, ou mesmo se os comentários recaíam sobre a doença em si (a gripe, neste caso).

Um dos trabalhos mais relevantes da literatura que aborda esta divisão entre os tópicos de EA e de análise de sentimento é o trabalho de Pavlopoulos [Pavlopoulos and Androutsopoulos 2014]. Neste trabalho, o autor compara os resultados obtidos por quatro métodos automatizados de EA com o objetivo de determinar os assuntos mais comentados por usuários. São os métodos: 1) *FREQ* Baseline; 2) o Método de Hu&Liu; 3) o *W2V*, ou *word2vec* [Mikolov et al. 2013a]; e, finalmente, 4) o conhecido

Latent Dirichlet Allocation, ou LDA [Blei et al. 2003]. Esses quatro métodos foram utilizados sozinhos ou em pares sobre três conjuntos de dados em Inglês: a) um *dataset* de análise de serviços de restaurantes; b) um conjunto de comentários sobre hotéis contendo 3.600 frases; c) e um conjunto de 3.085 frases de análise de laptops. Entre outros resultados, o autor mostra como a metodologia empregando W2V foi adequada na detecção de aspectos para a avaliação de sentimentos nos vários conjuntos de dados testados.

Notamos que a multiplicação da quantidade de textos opinativos trouxe como consequência o aumento da quantidade de termos de aspecto [Liu 2012]. Esta quantidade de textos opinativos certamente contribuiu para a expansão da área de análise automatizada de sentimentos em textos. A identificação do sentimento no texto funde-se com a extração de termos de aspecto, pois os sentimentos quase sempre estão vinculados a um aspecto particular do objeto comentado. Como exemplo, no excerto “a vacina é dolorida” o adjetivo qualifica o aspecto ‘vacina’, enquanto que, no fragmento “o período de vacinação foi curto”, a qualificação refere-se ao termo composto de aspecto ‘período de vacinação’. Num nível mais refinado, o da análise de sentimento baseada em aspecto, *Aspect-Based Sentiment Analysis* (ABSA), a classificação de sentimentos não ocorre para uma frase como um todo, mas para cada aspecto desta, e oferece assim um maior grau de refinamento ao processo. Neste contexto, em outro trabalho relevante, Hui Lek e sua equipe [Lek and Poo 2013] discutem a análise de sentimentos baseada em aspectos do conteúdo exclusivo de *tweets*. Um passo muito importante nessa linha é justamente a EA, que busca listar os aspectos mencionados em um dado *tweet* ou num conjunto destes.

Conrado [da Silva Conrado et al. 2013] e sua equipe trabalharam na extração automática de termos. O seu trabalho focou na utilização de métodos de aprendizado de máquina e atributos de enriquecimento sobre textos em Inglês e mostrou um incremento na taxa de recuperação de termos com o apoio de atributos linguísticos e estatísticos. Trabalhos como esse, de extração de termos, são relevantes porque, em análise de sentimentos, os aspectos comentados normalmente são termos.

O diferencial deste artigo em relação aos demais está na busca pela contextualização dos termos de aspecto e na aplicação em microblogs na língua Portuguesa. Para cada termo de aspecto em potencial, procuramos analisar se o contexto deste termo está relacionado à área de saúde através da abordagem W2V [Mikolov et al. 2013a] aplicada a termos vizinhos. Veremos mais detalhes desta análise de contexto na Seção 5.

3. Objetivos

Dado um conjunto de comentários, em Português, sobre doenças, na plataforma de microblogs Twitter, o objetivo principal deste trabalho é explorar métodos para encontrar uma lista dos tópicos mais citados que estão contextualizados na área de saúde. Para atingirmos este fim, restringimos o trabalho à comentários sobre as doenças transmitidas pelo mosquito *Aedes aegypti*, ou seja, Dengue, Chikungunya e Zika, assim como a condição relacionada de Microcefalia. Detalhamos este objetivo nas seguintes tarefas (ver Figura 1):

1. Recuperar um conjunto de dados brasileiros, em Português, do Twitter, sobre os seguintes temas da área de saúde: Dengue, Chikungunya, Zika e Microcefalia;
2. Realizar a rotulação/classificação morfossintática por meio de um etiquetador morfossintático (POS *tagger*);

3. Pré-processar os textos destes *tweets*, removendo as *stopwords*, termos menores que quatro caracteres e termos formados por caracteres especiais ou numerais;
4. Fazer uma poda frequencial dos termos de aspecto pelo método `FREQ Baseline`;
5. Contextualizar os termos de aspecto simples e compostos (bigramas e trigramas) com a abordagem `W2V`.

Em síntese, o objetivo deste trabalho é obter uma lista de termos em Português relacionados aos aspectos comentados nos *tweets* e contextualizados na área de saúde. Estes termos poderão ajudar a identificar quais os temas ou os assuntos prevalentes estão sendo comentados nesta plataforma de microblogs. A lista de termos obtida poderá contribuir para (i) conhecermos um conjunto de termos de aspectos da área da saúde sobre os problemas de saúde citados e (ii), futuramente, subsidiar o rastreamento na web de epidemias emergentes, propiciando uma reação mais rápida dos órgãos de saúde.

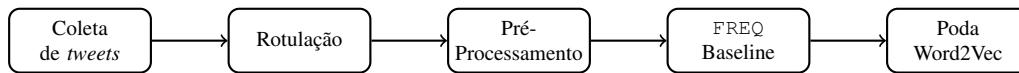


Figura 1. Etapas de processamento neste trabalho.

4. Materiais e métodos

O Laboratório de Sistemas Computacionais Complexos (LSCC) do Departamento de Computação e Matemática da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto, USP, coleta, desde novembro de 2014, *tweets* sobre temas relacionados à saúde a partir de uma lista de termos. Entre estes termos, estão os seguintes: H1N1, Zika, Microcefalia, Gripe, Vacina, Vacinação, Febre, Dor, Alergia, Dengue, Chikungunya, Diarréia, Aids, HIV e doação de sangue. Atualmente, esta base de dados conta com mais de 43 milhões de *tweets*. Aproximadamente 10% destes *tweets* (3.097.294) foram processados neste trabalho.

A classificação morfossintática dos constituintes de uma frase é o reconhecimento das classes gramaticais de suas palavras. São exemplos destas classes: adjetivos, artigos, verbos e substantivos, entre outras [Bird et al. 2009]. O toolkit NLTK [Bird et al. 2009] permite definir vários rotuladores para esta função. Esses rotuladores são formados através do treinamento sobre um conjunto de textos já anotados, os quais chamamos de *corpus*. Da base de dados do NLTK, usamos um rotulador treinado no *corpus* Floresta Sintática [Freitas et al. 2008]. Este *corpus* é composto de textos em português do Brasil e de Portugal previamente rotulados.

O pré-processamento tem como objetivo eliminar os termos muito frequentes ou que podem não agregar contexto ao documento. Para tanto, nos valem de tarefas simples para esta fase: remoção de *stopwords*; remoção de termos menores que quatro caracteres e termos formados por caracteres especiais ou numerais.

O foco da extração de termos de aspecto é a identificação dos termos de interesse no texto. Existem dois tipos de aspectos, os explícitos e os implícitos. Os primeiros são aqueles que estão sendo explicitamente mencionados na frase. Por exemplo, na oração composta “*Peguei dengue e estou com febre alta*”, o termo ‘febre’ é um aspecto explícito. Os aspectos implícitos são aqueles que não são diretamente mencionados na frase. Por

exemplo, na oração “*A vacina contra dengue é cara*”, temos como aspecto implícito o termo ‘preço’, que é inferido pelo qualificador ‘cara’ [Liu 2012]. O cerne deste trabalho está na identificação dos aspectos explícitos.

Para a EA, iniciamos pela aplicação do método `FREQ` Baseline, que é um método que retorna os substantivos mais frequentes (sem repetição). Os termos são dispostos numa lista ordenada de forma decrescente pela frequência. Este é um método simples, mas que tem demonstrado efetividade em vários trabalhos de pesquisa [Hu and Liu 2004a, Wei et al. 2010, Liu 2012].

O método `FREQ` Baseline foi estendido com uma etapa de poda que utiliza representações dos termos em espaço vetorial contínuo, segundo o modelo `W2V` [Mikolov et al. 2013b]. O objetivo é remover termos que, mesmo tendo frequências relativamente altas nos textos analisados, não tenham relação com o contexto estudado, ou seja, não pertençam ao contexto dos *tweets* das doenças em questão. Essa representação vetorial dos termos pode ser produzida, por exemplo, através do treinamento de um modelo de linguagem que retorne termos similares a um termo alvo, ou também a partir de uma lista de termos que retorne outro termo similar. Cada termo é representado por um vetor denso dentro de um espaço vetorial contínuo. Cabe enfatizar que, neste mapeamento pelo `W2V`, termos com semântica similar são mapeados como representações vetoriais próximas umas das outras. Assim, dizemos que os termos semanticamente similares são *embedded nearby each other*. O modelo obtido através deste treinamento é representado por um conjunto de vetores, ao qual chamamos de modelo de semântica distribucional, ou *word embeddings*, em inglês. Este modelo pode ser obtido através do processamento de grandes conjuntos de dados, geralmente compostos por bilhões de palavras, através de treinamento em rede neural. Comumente, em trabalhos semelhantes, são utilizados os dados da *Wikipedia* para a criação desses modelos. Para o Português, foi disponibilizado um modelo treinado pela equipe de João Rodrigues [Rodrigues et al. 2003], que utilizou, além dos dados da *Wikipedia*, outros *corpora* que contêm artigos científicos e jornalísticos, palestras, legendas de filmes e textos técnicos, entre outros documentos, com um total próximo a 1,7 bilhões de palavras.

5. Resultados

Do conjunto de *tweets* descrito anteriormente, recuperamos todos aqueles que apresentam os termos Dengue, Chikungunya, Zika e Microcefalia, referentes aos anos de 2015 e 2016. Escolhemos estes termos devido à grande repercussão que esses problemas de saúde tiveram no cenário brasileiro nos últimos anos. A Tabela 1 mostra o número de mensagens recuperadas em cada ano e os totais parciais por classe de mensagem.

Tabela 1. Número de *tweets* recuperados e analisados para os termos em foco.

Termo	2015	2016	Total
Dengue	922.720	784.330	1.707.050
Chikungunya	44.786	129.186	173.972
Zika	36.130	1.331.898	1.368.028
Microcefalia	5.282	192.992	198.274
Total	1.008.918	2.438.406	3.447.324

Nos *tweets* recuperados, foi aplicado um processo de separação de termos, ou

tokenização, do pacote NLTK [Bird et al. 2009], conhecido como o `TweetTokenizer`. Em seguida, foi aplicado o rotulador morfossintático treinado no modo *bigram backoff* [Freitas et al. 2008], o qual obteve o melhor desempenho em trabalho recente deste mesmo grupo [Temporal 2016].

5.1. Desvendando os unigramas

As etapas de processamento para encontrar os unigramas são comentados abaixo.

Pré-processamento Após a identificação dos substantivos através da rotulação, foram removidas as *stopwords*. Também foram removidos *tokens* formados por números ou caracteres especiais e termos com menos de quatro caracteres. As quantidades de potenciais termos de aspecto para cada doença estão mostrados na Tabela 2 sob o rótulo ‘Pré-Proc’. É notável o crescimento no número de termos no ano de 2016 para todas as doenças, exceto a Dengue. Este número crescente de termos acompanha o número crescente de *tweets* recuperados e mostrados na Tabela 1.

FREQ Baseline Um forte indicativo de que o substantivo determinado é relevante dentro do contexto estudado é a sua frequência no texto. Termos pouco frequentes foram eliminados nessa etapa, pois muito provavelmente não tem relação com o contexto ou possuem pouca relevância. Filtramos todos os termos com frequência $\leq 0,1\%$ para cada ano estudado. Veja na Tabela 2 o resultado desta poda. Repare que a quantidade de termos é equiparável em ordem de grandeza para todas as doenças e nos dois anos.

FREQ Baseline + Poda com W2V Empregamos os vetores de contexto como representativos ora dos textos analisados, *tweets*, ora dos textos próximos à linguagem comum. Para realizarmos essa poda, foram criados dois vetores:

1. O vetor de contexto está relacionado aos 10 termos mais frequentes do conjunto de *tweets* referentes aos problemas de saúde analisados. Este limiar foi encontrado com base nos resultados do método FREQ Baseline;
2. O vetor comum, pois foi calculado sobre os 20 termos mais frequentes no *corpus* das obras completas do Machado de Assis no NLTK.

Cada termo de cada um desses *corpora* foi convertido para um vetor obtido através do modelo distribucional da equipe de João Rodrigues [Rodrigues et al. 2003], formando assim duas matrizes de vetores. Para cada uma dessas matrizes, foi calculado seu centroide (média de cada um de seus elementos), tendo como resultado um único vetor para cada *corpus*, ou seja, cada *corpus* representa um contexto e cada contexto é representado por um vetor. Depois, cada termo obtido após a aplicação do método FREQ Baseline foi então comparado com esses vetores através do cálculo de similaridade por cosseno. Termos mais próximos do vetor comum foram descartados, enquanto os termos mais próximos do vetor de contexto foram mantidos, pois foram considerados como termos de aspecto contextualizado para os problemas de saúde em foco. Finalmente, os número de termos contextualizados com a abordagem W2V para cada problema são mostrados na última coluna da Tabela 2. Nota-se a grande redução em relação às quantidades obtidas depois da aplicação dos passos anteriores.

5.2. Bigramas e trigramas

A abordagem W2V também foi usada para encontrar termos de aspecto compostos, ou seja, os bigramas e os trigramas.

Tabela 2. Número de termos encontrados nos tweets.

Tema dos Tweets	Ano	Pré-Proc.	Freq	W2V
Dengue	2015	69.908	690	84
	2016	67.459	673	84
Chikungunya	2015	7.951	575	80
	2016	17.952	626	110
Zika	2015	8.696	502	66
	2016	105.996	661	73
Microcefalia	2015	2.139	455	58
	2016	18.321	705	104

O processo de identificação dos bigramas e trigramas foi similar ao processo de detecção de aspectos simples (unigramas), descartando-se apenas a etapa de rotulação. Após o pré-processamento, foram identificados todos os bigramas de cada *tweet*, e os mesmos foram ordenados de forma decrescente de acordo com suas frequências. Na aplicação do FREQ Baseline, foram removidos os bigramas com frequência $\leq 0,1\%$ dos *tweets* do conjunto de interesse. Por último foi realizada uma poda utilizando a abordagem W2V, em que cada termo foi analisado individualmente para encontrar o seu contexto. Assim, só foram mantidos os bigramas em que ambos os termos estivessem relacionadas ao contexto de saúde. A Tabela 3 mostra os resultados parciais após cada etapa do processamento de EA.

Tabela 3. Número de bigramas encontrados nos tweets.

Tema dos Tweets	Ano	Bigramas			Trigramas		
		Pré-Proc.	Freq	W2V	Pré-Proc.	Freq	W2V
Dengue	2015	755.976	630	79	1.133.998	299	25
	2016	716.364	720	77	1.050.112	478	40
Chikungunya	2015	40.716	1.196	114	51.092	1.201	105
	2016	114.164	1.160	142	145.246	1.076	120
Zika	2015	43.568	888	97	52.964	918	92
	2016	1.117.732	638	75	1.590.669	433	42
Microcefalia	2015	7.667	877	95	9.055	865	60
	2016	125.449	1.286	148	167.958	1.157	107

Para a identificação dos trigramas contextualizados, a abordagem usada foi análoga à abordagem de extração de bigramas. Veja na tabela acima os resultados obtidos.

5.3. Listas parciais dos termos de aspecto

Como ilustração dos resultados desse trabalho, o gráfico da Figura 2 mostra a quantidade de alguns dos bigramas ao longo de 24 meses de coleta. Observa-se que o número de mensagens relacionadas à dengue aumentou nos períodos de fevereiro a maio de 2015 e dezembro de 2015 a abril de 2016, épocas em que ocorreram aumentos dos números de casos da doença. Os termos zika, chikungunya e microcefalia foram mais mencionadas no ano de 2016, quando houve grande surto desse problemas, ano em que também se

observa aumento nas menções ao mosquito da dengue. Um ponto importante a ser observado são as menções ao combate à dengue, que também acompanharam a evolução da quantidade de casos da doença, indicando uma possível necessidade de se divulgar com mais antecedência as campanhas preventivas.

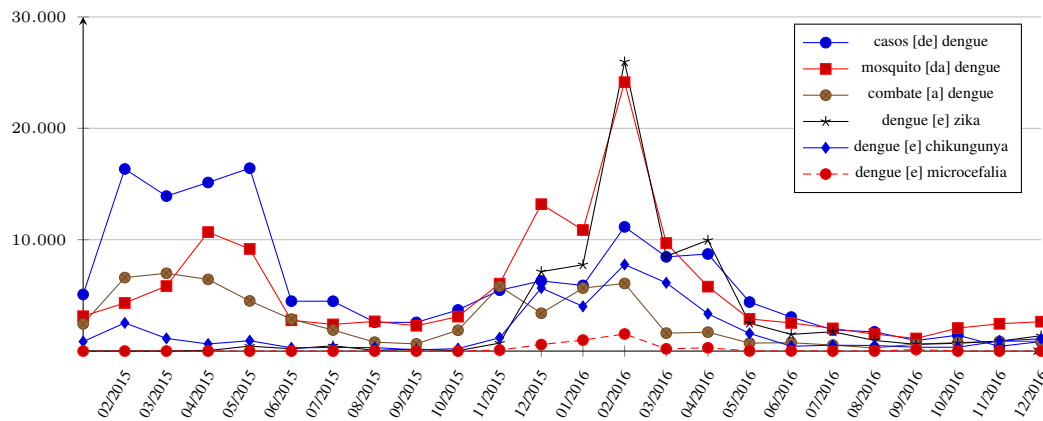


Figura 2. Bigramas por mês.

A seguir, apresentamos listagens de termos extraídos. As listas são apresentadas da seguinte forma: os termos sem formatação apareceram somente nos *tweets* de 2015; os termos sublinhados pertencem aos *tweets* de 2016; os termos em negrito pertencem a ambos os anos. Os termos entre chaves indicam as *stopwords* retiradas no pré-processamento.

Como exemplo de unigramas extraídos, seguem os 20 unigramas mais frequentes em relação à Dengue: (**dengue**) (**casos**) (**mosquito**) (zika) (**saúde**) (**chikungunya**) (**combate**) (**epidemia**) (**vacina**) (**vírus**) (**aedes**) (número) (estado) (**doença**) (**secretaria**) (**focos**) (**mutirão**) (água) (mortes) (**sintomas**)

Seguem os 20 bigramas mais frequentes em relação à Dengue: (**casos [de] dengue**) (**mosquito [da] dengue**) (**combate [a] dengue**) (dengue [e] zika) (**epidemia [de] dengue**) (dengue [e] chikungunya) (zika [e] dengue) (**aedes aegypti**) (zika [e] chikungunya) (**combater [a] dengue**) (**secretaria [de/da] saúde**) (número [de] casos) (**casos confirmados**) (zika vírus) (**sintomas [de/da] dengue**) (**focos [de/da] dengue**) (**dengue hemorrágica**) (chikungunya [e] zika) (**confirmados [de] dengue**) (**surto [de] dengue**)

Seguem os 20 trigramas mais frequentes em relação à Dengue: (dengue [,] zika [e] chikungunya) (número [de] casos [de] dengue) (**casos confirmados [de] dengue**) (dengue [,] chikungunya [e] zika) (**casos [de] dengue confirmados**) (zika [,] dengue [e] chikungunya) (**combate [ao] mosquito [da] dengue**) (dengue [e] zika vírus) (dengue [e] zika vírus) (**combater [o] mosquito [da] dengue**) (zika vírus [e] chikungunya) (chikungunya [e] zika vírus) (zika [,] chikungunya [e] dengue) (**mosquito transmissor [da] dengue**) (sintomas [da] dengue [e] zika) (**focos [do] mosquito [da] dengue**) (**mosquito aedes aegypti**) (risco [de] epidemia [de] dengue) (zika vírus [e] chikungunya) (**combater [a] dengue [e] chikungunya**)

6. Considerações finais

Neste trabalho, analisamos uma grande quantidade de *tweets* (cerca de 3,4 milhões), buscando extrair os principais termos de aspectos discutidos na rede social *Twitter* sobre Dengue, Chikungunya, Zika e Microcefalia, que são problemas de saúde que tiveram grande repercussão no cenário brasileiro nos últimos anos. No pré-processamento, eliminamos alguns ruídos, através da supressão das *stopwords*, termos menores que quatro caracteres e termos formados por símbolos ou números. Realizamos uma análise morfossintática das postagens, buscando os substantivos mais relevantes com o método `FREQ` Baseline, que retornou uma lista com as frequências de ocorrência desses termos. Também foram criadas listas frequenciais dos bigramas e trigramas encontrados nos *tweets*. E, por último, eliminamos termos não relacionados ao contexto das doenças, utilizando um modelo de semântica distribucional: o *word2vec*.

Apesar da simplicidade do método `FREQ` Baseline na Extração de Aspectos, pudemos observar que, com a adição de uma etapa de poda utilizando o *word2vec*, houve uma significativa melhora na qualidade dos resultados. Termos não relacionados aos contextos estudados são frequentes em textos obtidos a partir de redes sociais, devido à liberdade que os usuários têm de escrever aquilo que pensam. O *word2vec* possibilitou a eliminação desses termos indesejados, permitindo, assim, a construção de listas de aspectos realmente relacionadas aos temas em estudo.

Os métodos explorados mostraram-se satisfatórios para a tarefa, podendo ser aplicados na análise de outras doenças e condições de saúde. Como resultado, tivemos uma visão geral daquilo que foi mencionado na rede social *Twitter*, observando a evolução dos problemas, além de uma percepção sobre a efetividade e o alcance das campanhas preventivas. Espera-se que, futuramente, pesquisas como essa possam, com base em análise de textos da web, subsidiar o acompanhamento de epidemias em tempo real, de forma a se ter mecanismos mais eficazes de intervenção na saúde pelos órgãos competentes.

Agradecimentos

À FAPESP, pelo apoio a este trabalho.

Referências

- Almansa, L. F., Machado, M. T., Bosco, G. G., Merlo, E. M., and Ruiz, E. E. S. (2014). Information Learned from Monitoring Microblogs during the 2014 Seasonal Flu Vaccination in Brazil. In *e-Science (e-Science), 2014 IEEE 10th International Conference on*, volume 2, pages 65–66. IEEE.
- Bird, S., Klein, E., and Loper, E. (2009). *Natural Language Processing with Python*. O'Reilly Media, Inc.
- Blei, D. M., Ng, A. Y., and Jordan, M. I. (2003). Latent Dirichlet Allocation. *Journal of Machine Learning Research*, 3(Jan):993–1022.
- Bollen, J., Mao, H., and Zeng, X. (2011). Twitter mood predicts the stock market. *Journal of Computational Science*, 2(1):1–8.
- Cataldi, M., Di Caro, L., and Schifanella, C. (2010). Emerging topic detection on Twitter based on temporal and social terms evaluation. In *Proceedings of the Tenth International Workshop on Multimedia Data Mining*, page 4. ACM.

- da Silva Conrado, M., Pardo, T. A. S., and Rezende, S. O. (2013). A machine learning approach to automatic term extraction using a rich feature set. In *HLT-NAACL*, pages 16–23.
- Freitas, C., Rocha, P., and Bick, E. (2008). Um mundo novo na Floresta Sintá (c) tica – o treebank do Português. *Calidoscópico*, 6(3):142–148.
- Gandomi, A. and Haider, M. (2015). Beyond the hype: Big data concepts, methods, and analytics. *International Journal of Information Management*, 35(2):137–144.
- Hu, M. and Liu, B. (2004a). Mining and summarizing customer reviews. In *Proceedings of the Tenth ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, pages 168–177. ACM.
- Hu, M. and Liu, B. (2004b). Mining opinion features in customer reviews. In *AAAI*, volume 4, pages 755–760.
- Lek, H. H. and Poo, D. C. (2013). Aspect-based Twitter sentiment classification. In *2013 IEEE 25th International Conference on Tools with Artificial Intelligence*, pages 366–373. IEEE.
- Liu, B. (2012). Sentiment analysis and opinion mining. *Synthesis Lectures on Human Language Technologies*, 5(1):1–167.
- Mikolov, T., Chen, K., Corrado, G., and Dean, J. (2013a). Efficient estimation of word representations in vector space. *arXiv preprint arXiv:1301.3781*.
- Mikolov, T., Corrado, G., Chen, K., and Dean, J. (2013b). Efficient Estimation of Word Representations in Vector Space. *Proceedings of the International Conference on Learning Representations (ICLR 2013)*, pages 1–12.
- Moorhead, S. A., Hazlett, D. E., Harrison, L., Carroll, J. K., Irwin, A., and Hoving, C. (2013). A new dimension of health care: systematic review of the uses, benefits, and limitations of social media for health communication. *Journal of Medical Internet Research*, 15(4):e85.
- Pavlopoulos, J. and Androutsopoulos, I. (2014). Aspect term extraction for sentiment analysis: New datasets, new evaluation measures and an improved unsupervised method. *Proceedings of LASMEACL*, pages 44–52.
- Rodrigues, J., Branco, A., Neale, S., and Silva, J. (2003). LX-DSEmVectors: Distributional Semantics Models for Portuguese. *6th International Workshop PROPOR'2003, Faro, Portugal, June 2003*, 8775(2721):214–219.
- Temporal, J. C. A. N. (2016). Identificação de entidades mencionadas para análise de sentimentos em microblogs. Monografia (Bacharel em Informática Biomédica), FFCLRP, Universidade de São Paulo, Brazil.
- Tumasjan, A., Sprenger, T. O., Sandner, P. G., and Welpe, I. M. (2010). Predicting elections with Twitter: What 140 characters reveal about political sentiment. *ICWSM*, 10(1):178–185.
- Wei, C.-P., Chen, Y.-M., Yang, C.-S., and Yang, C. C. (2010). Understanding what concerns consumers: a semantic approach to product feature extraction from consumer reviews. *Information Systems and E-Business Management*, 8(2):149–167.

Correlacionando genes e doenças através de caminhos metabólicos

Carla Fernandes da Silva^{1,2}, Kuruvilla Joseph Abraham³
Evandro Eduardo Seron Ruiz²

¹Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada

²Departamento de Computação e Matemática, FFCLRP
Universidade de São Paulo.

³Centro Universitário Estácio de Ribeirão Preto

{carlanandess, evandro}@usp.br, abrahamkj@gmail.com

Abstract. *One of the main challenges in science is to identify the factors that cause these diseases. Among these factors are the genes. This work will present a methodology to prioritize genes using pathways related to a complex disease. The challenge is to unveil which genes can contribute to triggering a complex disease. The goal is to develop a methodology for prediction of gene-disease through the integration of data related to genes, diseases and metabolic pathways and to eventually discover new genes associated with a disease.*

Resumo. *Um dos principais desafios da ciência é identificar os fatores que causam essas doenças, dentre estes fatores estão os genes. Neste trabalho, será apresentada uma metodologia para priorizar genes e vias metabólicas relacionados a uma doença complexa, com o desafio de descobrir quais os genes podem contribuir para desencadear uma doença complexa. O objetivo é desenvolver uma metodologia para predição de gene-doença através da integração de dados de genes-doenças-vias metabólicas, visando a descoberta de novos genes associado a doença.*

1. Introdução

Os crescentes avanços genéticos e tecnológicos têm proporcionado uma melhor compreensão das doenças humanas no âmbito geral. Muitas doenças cujas causas eram atribuídas a fatores ambientais e comportamentais, hoje sabe-se que essas doenças possuem também fatores genéticos associados. As doenças cujos fatores protagonistas são os genéticos, aliado aos fatores ambientais e comportamentais são conhecidas como *doenças complexas* [Goh and Choi 2012]. Este trabalho aborda o desafio de propor uma metodologia para desvendar quais os genes que podem contribuir para desencadear essas doenças.

Atualmente, podemos notar um grande interesse nas pesquisas relacionadas à predição gênica, ou seja, a identificação funcional de genes em associação a uma doença. Estas pesquisas são facilitadas pela enorme quantidade e variedade de dados genéticos que estão disponíveis em bases públicas de dados. Muitas destas pesquisas consideram informações já existentes de relacionamentos de genes associados a doenças para descobrir novos relacionamentos [Goh et al. 2007, Duarte and Becker 2007, Lee et al. 2008, Lee et al. 2011, Vidal et al. 2011, Ritchie et al. 2015, Menche et al. 2015].

Diversos trabalhos na literatura como [Goh et al. 2007, Wu et al. 2008, Li and Agarwal 2009, Barabási 2007, Barrenas et al. 2009, Barabási et al. 2011, Zhou et al. 2014] utilizaram as abordagens de redes complexas para um melhor entendimento dos mecanismos que servem como base para as doenças complexas. Em um trabalho pioneiro, [Goh et al. 2007] criou uma rede de doenças humanas (*Human Disease Network* – HDN) conectando todas as doenças hereditárias que compartilham um gene causador de doença, de acordo com o banco de dados OMIM. Na rede HDN, duas doenças estão conectadas se elas estão associadas a um mesmo gene. Dado que as ligações significam associação genotípica elas poderiam ser usada em conjunto com reações metabólicas.

A união da abordagem de redes gênicas juntamente com a integração de dados de diversos tipos de banco biológicos têm contribuído para diversas descobertas de novos genes para compreensão de doenças complexas. Neste trabalho, é proposta uma metodologia que integra dados sobre genes associados a doenças com informações sobre vias metabólicas para a construção de uma rede de doenças com intuito de selecionar genes que possam explicar um fenótipo da doença. Diferentemente de trabalhos relacionados está proposta inclui vias-metabólicas como fator de associação de doenças.

2. Metodologia

A metodologia proposta integra dados sobre genes, doenças e vias metabólicas visando a descoberta de novos genes associados a comorbidades. A construção da metodologia proposta neste projeto pode ser dividida em três etapas, que são:

1. A primeira etapa consiste em extrair as associações de doença-gene do banco de dados KEGG *Disease* que possuem em torno de 1.704 tipos de doenças humanas¹. Para cada doença será criada uma lista de genes padronizada de acordo com o a nomenclatura HGNC². A partir desta lista gene-doença queremos encontrar a sobreposição de genes relacionados com duas doenças ou mais doenças.
2. Na segunda etapa construiremos uma rede doença-doença a partir dos pares de diagnóstico principal e secundário presentes nas Autorizações de Internação Hospitalares (AIHs) extraídos do DATASUS. A rede doença-doença extraída das relações doenças-genes derivadas do KEGG, da etapa anterior, será confrontada com a rede doença-doença extraída das AIHs.
3. A terceira etapa compreende em criar uma rede doença-gene-via metabólica para estudar associações entre genes e doenças através de vias-metabólicas. Procuraremos diferenciar as vias metabólicas gerais das vias específicas e assim esperamos descartar os genes das vias mais gerais por elas fazerem parte de processos biológicos essenciais para a sobrevivência do indivíduo. Esta análise permitirá descobrir se existe uma correlação entre as doenças que compartilhem genes e vias metabólicas entre si. Uma visão sistematizada da metodologia proposta neste trabalho é apresentada na Figura 1.

3. Resultados Preliminares

Até o presente momento, já conseguimos gerar a rede doença-gene que pode ser representada por um grafo bipartido com 1279 vértices correspondentes a doenças, 2692 vértices

¹Última atualização do KEGG *Disease* em 8 janeiro de 2017.

²HUGO Gene Nomenclature Committee

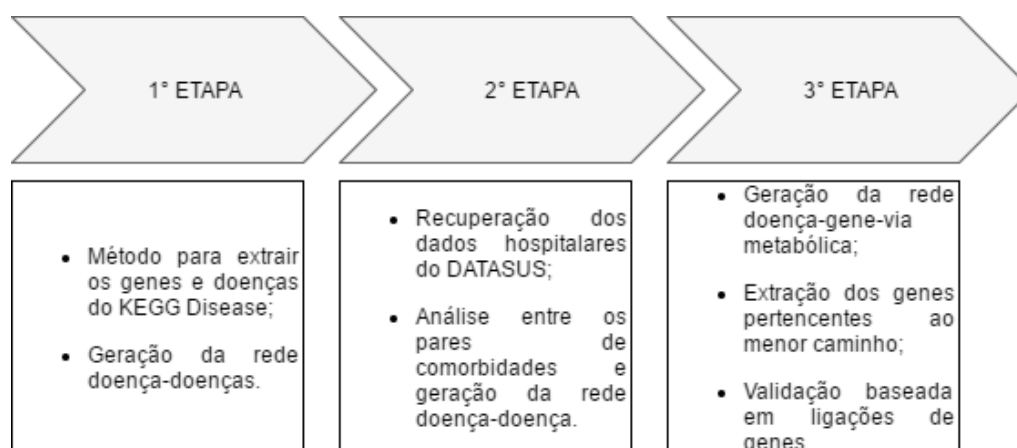


Figura 1. Pipeline de execução das etapas do projeto.

correspondentes a genes e 4432 arestas. A rede doença-gene possui 418 componentes conexos sendo que o maior componente contém 2778 nós. A partir do grafo doença-gene foi gerada um grafo doença-doença, que possui 905 vértices (doenças) e 3480 arestas. Este grafo apresenta 44 componentes conexos sendo que o maior componente apresenta 775 doenças.

A Figura 2(a) ilustra a rede doença-doença gerada a partir do maior componente conexo e com vértices com grau ≥ 2 . O grafo ilustra as relações entre 613 doenças que correspondem onde a 67,7% das doenças no agrupamento principal, e estão ligadas por 3182 genes (arestas), que representam 91,5% do mesmo agrupamento. A primeira etapa ainda não está totalmente concluída pois ainda não foi realizada a padronização dos genes e o mapeamento do código de doença do KEGG para CID-10. Pelo gráfico da Figura 2(b) é possível concluir, a partir da distribuição dos graus, que esta rede doença-doença não é uma rede aleatória, o que já se apresenta um resultado original.

Esperamos realizar a padronização via HGNC e compará-la com as relações entre as comorbidades dos registros do SUS.

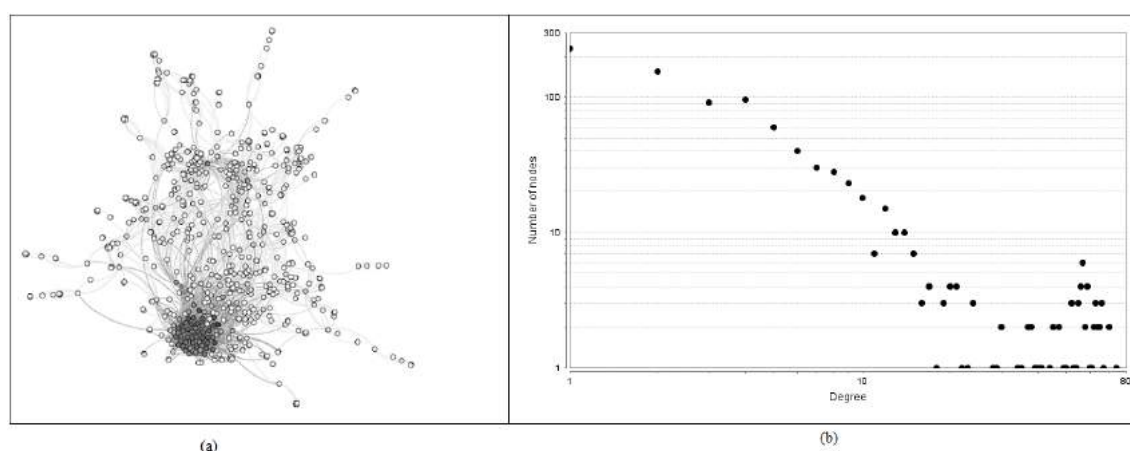


Figura 2. (a) Grafo representando as relações genéticas no KEGG entre 613 doenças, e (b) Distribuição de graus dos vértices.

Referências

- Barabási, A.-L. (2007). Network Medicine — From Obesity to the “Diseasome”. *NEJM*, 357:404–407.
- Barabási, A.-L., Gulbahce, N., and Loscalzo, J. (2011). Network Medicine: A Network-based Approach to Human Disease. *Nature Reviews Genetics*, 12(1):56–68.
- Barrenas, F., Chavali, S., Holme, P., Mobini, R., and Benson, M. (2009). Network Properties of Complex Human Disease Genes Identified through Genome-Wide Association Studies. *PLoS ONE*, 4(11):2–7.
- Duarte, N. and Becker, S. A. (2007). Global reconstruction of the human metabolic network based on genomic and bibliomic data. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104(6):1777–1782.
- Goh, K. I. and Choi, I. G. (2012). Exploring the human diseasome: The human disease network. *Briefings in Functional Genomics*, 11(6):533–542.
- Goh, K.-i., Cusick, M. E., Valle, D., Childs, B., and Vidal, M. (2007). The human disease network. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(21):8685–8690.
- Lee, D. S., Park, J., Kay, K. A., Christakis, N. A., Oltvai, Z. N., and Barabasi, A. L. (2008). The implications of human metabolic network topology for disease comorbidity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105(29):9880–9885.
- Lee, I., Blom, U. M., Wang, P. I., Shim, J. E., and Marcotte, E. M. (2011). Prioritizing candidate disease genes by network-based boosting of genome-wide association data. *Genome Research*, 21(7):1109–1121.
- Li, Y. and Agarwal, P. (2009). A pathway-based view of human diseases and disease relationships. *PLoS ONE*, 4(2):e4346.
- Menche, J., Sharma, A., Kitsak, M., Ghiassian, S. D., Vidal, M., Loscalzo, J., and Barabási, A.-L. (2015). Disease networks. Uncovering disease-disease relationships through the incomplete interactome. *Science*, 347(6224):1257601.
- Ritchie, M. D., Holzinger, E. R., Li, R., Pendergrass, S. A., and Kim, D. (2015). Methods of integrating data to uncover genotype–phenotype interactions. *Nature Reviews Genetics*, 16(2):85–97.
- Vidal, M., Cusick, M. E., and Barabási, A.-L. (2011). Interactome networks and human disease. *Cell*, 144(6):986–98.
- Wu, X., Jiang, R., Zhang, M. Q., and Li, S. (2008). Network-based global inference of human disease genes. *Molecular Systems Biology*, 4(189):189.
- Zhou, X., Menche, J., Barabási, A.-L., and Sharma, A. (2014). Human symptoms–disease network. *Nature Communications*, 5(May).

Realidade Aumentada Aplicada ao Processo de Reabilitação Física de Membro Superior

Jone Follmann, Gabriel Brinhol, Patrick Tarouco, Julio Saraçol, Érico Amaral

Engenharia de Computação – Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA)
Bagé – RS – Brazil

***Abstract.** This work proposes a solution to support the process of the rehabilitation of patients who have suffered traumatic or surgical amputation of upper limbs. Considering this scenario, it is expected to provide a training tool that uses Augmented Reality (AR) Technology to assist the patients into the rehabilitation process. It is expected that when using this resource, the patients can be easily adapted to a physical prosthesis.*

***Resumo.** Este trabalho propõe uma solução para apoiar o processo de reabilitação de pacientes que sofreram amputação traumática ou cirúrgica de membros superiores. Considerando este cenário, espera-se fornecer uma ferramenta de treinamento que usa a Tecnologia de Realidade Aumentada (RA) para auxiliar os pacientes no processo de reabilitação. Espera-se que ao utilizar este recurso, os pacientes possam ser facilmente adaptados a uma prótese física.*

1. Introdução

O estudo sobre a aplicação de novas tecnologias como Realidade Aumentada (RA) e Realidade Virtual (RV), aplicadas como instrumento de apoio ao processo de reabilitação física de pacientes que sofreram algum tipo de amputação, está em constante crescimento (KIRNER & KIRNER, 2007). São reconhecidas diferentes técnicas que podem ser adotadas no tratamento destes indivíduos, dentre elas, a Eletromiografia (EMG) é uma das soluções de monitoramento que merece destaque, pois utiliza atividades elétricas constantes nas células musculares para realizar o monitoramento.

Especificamente, em relação à simulação de próteses para membros superiores, muitas aplicações são encontradas, as quais adotam hardwares ou softwares capazes de identificar e interpretar sinais mioelétricos, e a partir destes, constituir determinados movimentos. Este tipo de tratamento quando integrado a soluções de RA e RV, visam a recuperação de atividades musculares por meio de soluções com alto nível motivacional, uma vez que possibilita ao paciente identificar, visualmente, seus membros amputados. Segundo Trevisan *et al.* (2010), essa prática viabiliza estímulos cerebrais, necessários para a reabilitação do paciente. Dessa forma, o paciente pode visualizar a projeção do membro amputado, assim como todos os objetos do cenário real ao seu redor na tela do computador.

Reconhecendo o contexto apresentado, o objetivo deste projeto é a construção de uma solução computacional utilizando realidade aumentada e um nó sensor, que possibilite a simulação de um conjunto de atividades necessárias ao processo de reabilitação física de pacientes com amputações em membros superiores. Vislumbra-se também, que este estudo disponibilize um instrumento válido para fisioterapeutas acompanharem a evolução de seus pacientes.

2. Referencial Teórico

De acordo com Abrahão *et al.* (2011), ao sofrer acidentes que resultem em amputações em membros do corpo, os indivíduos podem sofrer tanto de maneira física, quanto psicológica. E por isso, é relevante tentar restabelecer a liberdade e a mobilidade destes pacientes, resultando na melhor readaptação dos indivíduos a sociedade. Dessa forma, o estudo relacionado a próteses virtuais está crescendo nos últimos anos. Entretanto, a reabilitação é lenta e desgastante, o que acarreta em um alto grau de desistência dos indivíduos durante o período de tratamento.

Atualmente, as clínicas de reabilitação física utilizam várias técnicas para estimulação dos músculos de membros amputados. Dentre elas, a terapia do espelho, a qual consiste em uma técnica que utiliza um espelho interposto entre os membros superiores, é largamente utilizada. Esta técnica proporciona ao paciente a ilusão de visualização do seu braço amputado movimentando-se de maneira similar ao membro não afetado, induzindo a estímulos e favorecendo possíveis ganhos de mobilidade e coordenação nas áreas amputadas.

Desta forma, Soares (2003) destaca, a RA tem se apresentado como uma eficiente ferramenta em aplicações da área médica. Considerando o processo de reabilitação, a proposta da RA se torna uma ótima alternativa para realizar um tratamento mais atrativo e menos desgastante. Sendo assim, este trabalho tenta explorar através de uma solução computacional o uso de RA para o treinamento e adaptação, de pacientes com membros amputados que estimule o cérebro e os músculos durante as primeiras fases do processo de reabilitação. Logo após, a amputação, o coto não pode ficar exposto ao atrito e nem sofrer sobrecarga, dessa forma, próteses não podem ser utilizadas. Então, até que as próteses definitivas estejam aptas para a utilização, é possível realizar uma adaptação e estimulação das áreas do coto com RA. Nogueira *et al.* (2005), descreve que a utilização da RA pode proporcionar ao usuário uma maior imersão, combinando cenas virtuais e ambientes reais em um ambiente único.

3. Metodologia

Este projeto está sendo desenvolvido sob um método científico (CERVO *et al.* 2007), considerando para isto a experimentação, observação e coleta de dados relacionados a aplicação da RA como instrumento para o apoio ao processo de reabilitação física.

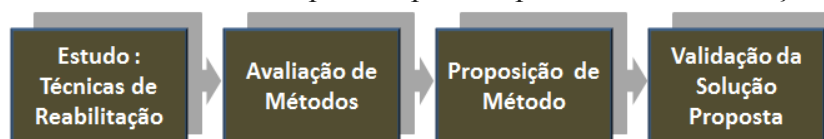


Figura 1. Organograma da metodologia.

Um conjunto de etapas, previamente definidas, sustentam as ações da pesquisa, conforme apresentado na Figura 01, as quais estão constituídas por: técnicas de reabilitação de pacientes com membros amputados, avaliação dos métodos estado da arte, propor um método para visualização da prótese e validação da solução proposta a qual foi desenvolvida, implementada e testada. Atualmente, este estudo encontra-se na fase de proposição de um método. Este estudo está sendo desenvolvido em uma parceria do Serviço de Reabilitação Física da cidade de Bagé/RS, com o apoio da Unimed Região da Campanha.

4. Implementação

Primeiramente, foi realizado um estudo sobre a área de reabilitação de membros amputados e RA, a partir disso, identificou-se que a solução mais pertinente seria a construção de um braço virtual, o qual possibilitaria um ambiente motivador aos

pacientes amputados de membros superiores. A etapa seguinte, foi constituída da implementação e modelagem de um protótipo de braço virtual, o qual será utilizado para representar a prótese. Neste modelo, foi definido uma armadura de 21 ossos, o que permitiria a execução de movimentos mais reais da prótese, possibilitando assim, uma sensação mais realista ao paciente. Após a modelagem do protótipo foi utilizado o software Blender¹ para desenvolver as movimentações do protótipo. A figura 2 apresenta a modelagem do protótipo de braço, assim como na figura 3 são apresentados os movimentos básicos a serem realizados. Estes movimentos são: fechamento da mão, flexão dos dedos: polegar, indicador, médio, anelar e mindinho.



Figura 2. Construção do braço virtual.

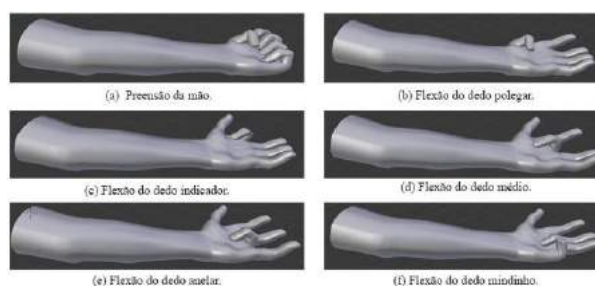


Figura 3. Seis movimentos básico da prótese virtual.

A interação do paciente com o ambiente virtual de treinamento é efetuada através da tecnologia Unity². O processo de movimento da prótese virtual é definido por 3 etapas, são elas: aquisição, processamento e resposta. Assim, estas etapas são responsáveis pela aquisição dos comandos do teclado, e logo após, pela determinação do movimento através de comandos do ambiente no Unity. Desta forma, é efetuada a movimentação da prótese de acordo com a determinação do movimento obtido no módulo de processamento. A figura 4 representa um organograma com a representação do conjunto de etapas do movimento da prótese virtual.

Após construção do membro, a prótese foi associada a um marcador. Portanto, quando a câmera localizar o marcador o objeto associado a ele é inserido na tela em tempo real, como apresenta a figura 5.

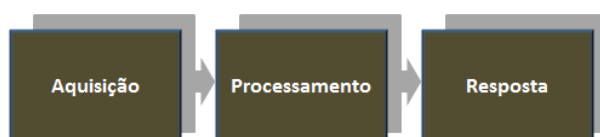


Figura 4. Organograma das etapas de movimentação da prótese.



Figura 5. Prótese virtual projetada sobre o marcador.

5. Conclusões Parciais

Neste trabalho é proposta uma solução computacional que permite a utilização de Realidade Aumentada na área de saúde, mais especificamente, no tratamento de pacientes com membros amputados. A proposta é baseada nos benefícios da técnica do

¹ Project Blender - <https://www.blender.org/> - programa que permite a geração de modelos tridimensionais, apresentações, aplicações interativas, animações.

² Motor de Jogo 3D Unity - <https://unity3d.com> – aplicação para o desenvolvimento integrado que fornece uma funcionalidade pioneira para criação de jogos e outros conteúdos interativos.

espelho, e visa controlar os movimentos de um braço virtual através de sinais mioelétricos. Este ambiente simula movimentos virtuais mediante a uma máquina com interface gráfica, onde através da interatividade e imersão do paciente, espera-se estimular áreas motoras do córtex e de feedback visual. Até o momento, foram efetuadas as implementações iniciais do ambiente de RA, as quais apresentaram resultados satisfatórios na determinação e execução dos movimentos. Como próximos passos, pretende-se utilizar um microcontrolador conectado a sensores de sinais mioelétricos para a coordenação do protótipo de braço em RA, além de adicionar algumas ações ao protótipo, tais como, segurar um objeto e movê-lo de lugar.

Considerando que a técnica do espelho é uma das técnicas mais efetivas, pretende-se, futuramente, criar uma série de treinamentos e níveis para os diferentes tipos de pacientes. Assim, espera-se melhorar os resultados dos tratamentos antes da prótese real, visto que, as técnicas convencionais nem sempre geram resultado. Em suma, este projeto visa implementar uma ferramenta que auxilie fisioterapeutas no processo de tratamento dos pacientes de membros amputados superiores, colaborando para uma melhor qualidade de vida das pessoas e agilizando o processo de reabilitação.

Referencias

ABRAHÃO, L. C. L.; LAMOUNIER E. A.; Realidade aumentada on-line aplicada à simulação de um membro superior. *Aplicações Médicas*. Uberlândia-MG: FAPEMIG. – 2011.

CERVO, A., BERVIAN, P., DA SILVA, R. “Metodologia Científica”. 6ª ed. 2007.

KIRNER, C.; KIRNER, T.G.; Virtual Reality and Augmented Reality Applied to Simulation Visualization. In: El Sheikh, A.A.R.; Al Ajeeli, A.; Abu-Taieh, E.M.O. (Org.). *Simulation and Modeling: Current Technologies and Applications*. 1 ed. Hershey-NY: IGI Publishing, 2007, v. 1, p. 391-419.

MATTIOLI, F. E. R.; CAETANO, D. S. D.; GOMES, W.; LAMOUNIER, E. A.; CARDOSO, A. Utilização de redes neurais para a classificação de sinais EMG aplicados no controle de próteses virtuais de mão. *[Anais Do] WRVA'2010, Workshop De Realidade Virtual e Aumentada*, São Paulo: SBC, 2010.

NOGUEIRA, K. L.; CARDOSO, A.; LAMOUNIER, E.; Uma aplicação de realidade aumentada no auxílio da adaptação de próteses em membros superiores. *WARV*. Uberlândia, 2005.

RIBEIRO, M.; ZORZAL, E. Livro do pré-simpósio, XIII Symposium on Virtual and Augmented Reality. Uberlândia-MG: SBC, 2011. 150 p.

S. HERLE, P. RAICA, G. LAZEA, R. R., M. C., AND L. TAMAS. Classification of surface electromyography signals for control of upper limb virtual prosthesis using time-domain features. *Proceedings of the 2008 IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics*, pages 160–165, 2008.

SOARES, A.; ANDRADE, A.; LAMOUNIER JÚNIOR, E. A.; and CARRIJO, R. The development of a virtual myoelectric prosthesis controlled by an EMG pattern recognition system based on neural networks. *Journal of intelligent information systems*, 2003.

TREVISAN, C.M., TRINTINAGLIA, V.; Efeito das terapias associadas de imagem motora e de movimento induzido por restrição na hemiparesia crônica: estudo de caso. *Fisioterapia e Pesquisa*, São Paulo, v.17, n.3, p.264-9, jul/set. 2010.

ORTIZ-CATALAN M, GUÐMUNDSDÓTTIR RA, KRISTOFFERSEN MB, *et al.*; *Biosignal Processing and Computational Methods to Enhance Sensory Motor Neuroprosthetics*, 2016.

Concepção de uma Arquitetura Móvel para Identificação de Anomalias Cardíacas

Rodrigo Leal¹, Cidrônio Oliveira¹, Ismael Pereira², Francisco Airton Silva¹

¹Universidade Federal do Piauí (UFPI)
Departamento de Computação
Picos – PI – Brasil

²Departamento de Medicina
Teresina – PI – Brasil

Abstract. *Abnormal changes in the heart impulses can mean illnesses that require frequent monitoring. Traditional metering solutions present recognized accuracy, however they become expensive when patients decide to be frequently examined. This paper presents an analysis of some low-cost mobile technologies for heart rate monitoring, such as the Mi Band 2 bracelet and Instant Heart Rate applications, 4Free Blood Pressure and iCare Health Monitor. The metrics analyzed were: practicality, measurement environment, data manipulation, platform, accuracy and cost. In terms of accuracy, the Mi Band 2 bracelet was close to 92%. Based on this result, this paper proposes a distributed system capable of identifying cardiac anomalies with the Mi Band 2 bracelet.*

Resumo. *Mudanças anormais nos impulsos cardíacos podem significar enfermidades que requerem monitoramento frequente. Soluções tradicionais de medição mostram uma conceituada acurácia, porém custosas financeiramente quando realizadas com frequência. Esse artigo mostra uma análise de algumas tecnologias móveis de baixo custo para monitoramento de impulsos cardíacos, tais como o bracelete Mi Band 2 e aplicativos Instant Heart Rate, 4Free Blood Pressure e iCare Monitor de Saúde. As métricas analisadas foram: praticidade, ambiente de medição, manipulação dos dados, plataforma, acurácia e preço. Em termos de acurácia, o bracelete Mi Band 2 chegou próximo de 92%. Baseado nesse resultado, o artigo apresenta uma proposta de um sistema distribuído capaz de identificar anomalias cardíacas com o bracelete Mi Band 2.*

1. Introdução

O coração é um órgão vital para funcionamento do corpo humano. Diversas enfermidades podem afetar o fluxo cardíaco saudável [Aubert et al. 2003]. Existem várias técnicas para o monitoramento dos impulsos cardíacos, a citar as tradicionais como Holter, Eletrocardiograma e Oxímetro; e inovações como a pulseira Mi Band 2, e aplicativos móveis, tais como *Instant Heart Rate*, *4Free Blood Pressure* e *iCare Monitor de Saúde* que possuem um número considerável de instalações e de boas avaliações, conforme o Google Play¹.

As ferramentas tradicionais possuem reconhecida acurácia, porém, tem custo oneroso para cardiopatas e registro não contínuo. Contudo, inovações podem proporcionar mobilidade e baixo custo. Este artigo propõe a concepção de uma sistema distribuído capaz de monitorar e identificar anomalias cardíacas de forma móvel, automática e contínua.

¹<https://play.google.com/store/>

2. Ferramentas de Monitoramento Cardíaco

O monitoramento cardíaco pode ser feito com diversos métodos. Nas tecnologias tradicionais, destacam-se: o Eletrocardiograma (ECG), Holter e Oxímetro. O ECG é referência para diagnóstico não invasivo de arritmias², apesar de ter atividade limitada fora do ambiente hospitalar [Massot et al. 2015]. O método de Holter faz o registro do ECG por períodos diários do paciente [Holter 1961]. A Tabela 1 e 2 mostram um estudo de custo do ECG e Holter, respectivamente, em fevereiro desse ano, na cidade de Teresina (PI).

Tabela 1. Preço do ECG.

Clínica	Preço
Clínica 1	R\$ 60.00
Clínica 2	R\$ 58.00
Clínica 3	R\$ 54.35

Tabela 2. Preço de Holter.

Clínica	Preço
Clínica 1	R\$ 200.00
Clínica 2	R\$ 230.00
Clínica 3	R\$ 174.00

O Oxímetro é um medidor de frequência cardíaca instantâneo a um preço variável de R\$ 250,00³ [Garbey et al. 2007]. Entre as tecnologias recentes, a Mi Band 2⁴ é um dispositivo vestível carregado com funções de medição de dados cardíacos. Já os aplicativos *Instant Heart Rate*, *4Free Blood Pressure* e *iCare Monitor de Saúde* funcionam monitorando mudanças suaves na coloração da pele.

3. Trabalhos Relacionados

Nesta seção são mostradas pesquisas que propõem melhorias nos métodos de monitoramento tradicionais. Xu et al (2016) apresentaram uma tecnologia com maior praticidade em comparação ao ECG. Li et al (2017) apontam a criação de um modelo para leitura do ECG em longos períodos, com uso de *software*. Massot et al (2015) mostram a criação de um sensor cardíaco capaz de enviar sinais via *Wi-Fi*. Todos os trabalhos divulgaram praticidade em relação às técnicas anteriores, registro contínuo e mobilidade (respectivamente), porém sem discussão de outras métricas como apresentado no presente estudo.

4. Comparação entre Tecnologias Móveis

Esta seção apresenta um comparativo entre as tecnologias recentes. As métricas analisadas foram: praticidade (facilidade na obtenção dos dados), ambiente de medição (local apropriado), manipulação dos dados (manuseio dos dados colhidos), plataforma (sistemas operacionais suportados), acurácia (proximidade do valor obtido com o valor do estetoscópio) e custo (desembolso necessário).

Para se medir a acurácia, foram feitas trinta medições divididas igualmente em três faixas etárias (adolescentes, adultos e idosos). Os valores de referência foram obtidos com auxílio de um estetoscópio⁵. A Figura 1 apresenta o cálculo da acurácia. Os resultados de cada aplicativo foram confrontados com o valor do estetoscópio. A acurácia média de um aplicativo foi obtida a partir da média aritmética simples das acurácias particulares.

²Diretriz da interpretação do ECG em repouso – Sociedade Brasileira de Cardiologia.

³<http://www.medjet.com.br/busca/oximetro>

⁴<http://www.mi.com/en/miband2/>

⁵<http://www.encyclomedica.com.br/estetoscopio/>

Paciente	Medição Manual	Aplicativo A	
Maria	80 bpm	72 bpm	→ Acurácia ¹ = (72/80)*100
Ricardo	90 bpm	65 bpm	→ Acurácia ² = (65/90)*100
			n = número de acurácias particulares Acurácia Média = (Acurácia ¹ + ... + Acurácia ⁿ)

Figura 1. Cálculo da Acurácia Média.

As figuras abaixo apresentam as acurácias levantadas das tecnologias sobre cada faixa etária. A pulseira Mi Band 2 é representada nos gráficos como MB 2, *Instant Heart Rate* como IHR, *4Free Blood Pressure* como 4Free e *iCare Monitor de Saúde* como ICare.

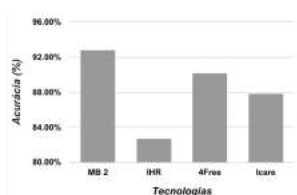


Figura 2. Adolescentes.

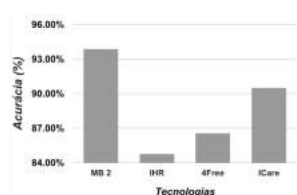


Figura 3. Adultos.

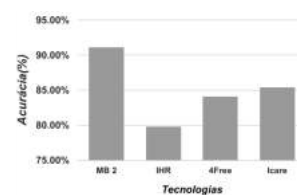


Figura 4. Idosos.

A Figura 5 apresenta o estudo usando análise sobre a variância (ANOVA⁶). O gráfico apresenta a relação entre as médias de acurácia. A margem de acerto da Mi Band 2 é superior às demais, enquanto que o *4Free Blood Pressure* e *iCare Monitor de Saúde* apresentam linhas de representação sobrepostas, indicando medições aproximadas.

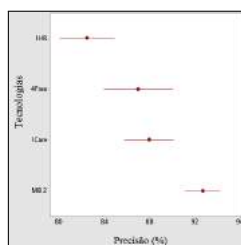


Figura 5. Comparação entre Intervalos e Médias de Acurácia.

O *iCare Monitor de Saúde* possui uma menor amplitude em relação ao *4Free Blood Pressure*. A Tabela 3 mostra o paralelo entre as tecnologias nas métricas definidas. As tecnologias possuem acurácias distintas. Inversamente proporcional às acurácias, o *Instant Heart Rate* mostra mais de 10 milhões no Google Play, já o *4Free* tem pouco mais de mil, enquanto que o *iCare* detem de aproximadamente 1 milhão de *downloads*.

Tabela 3. Comparativo entre Tecnologias Móveis de Baixo Custo.

Tecnologia	Praticidade	Ambiente de Medição	Manipulação dos Dados	Acurácia	Plataforma	Custo
MB 2	Sim	Não Interfere	Não	92%	Android, iOS e MIUI	R\$ 299.99 ⁷
IHR	Sim	Interfere	Não	82%	Android, iOS	Gratuito
4Free	Sim	Interfere	Não	87%	Android, iOS	Gratuito
ICare	Sim	Interfere	Não	88%	Android, iOS	Gratuito

⁶<http://www.est.ufpr.br/ce003/material/cap7.pdf>

As tecnologias avaliadas possuem praticidade, dada simplicidade de mobilidade desses dispositivos. O ambiente de medição para cada dispositivo varia entre interfere e não interfere, com exceção da Mi Band 2, os aplicativos móveis podem sofrer interferência do ambiente⁸. Sobre a métrica manipulação dos dados, as tecnologias não manipulam os dados para concluir em diagnósticos, apenas registram observações cardíacas.

5. Arquitetura

Com base na análise, objetiva-se desenvolver uma ferramenta de monitoramento com o bracelete Mi Band 2 e de diagnóstico cardíaco. A Figura 6 mostra a arquitetura composta por: Coletor, Receptor e Infraestrutura de Armazenamento. O Coletor designa a Mi Band 2 para leitura dos impulsos cardíacos; o Receptor faz o acompanhamento e interpretação das frequências cardíacas com o aplicativo *Android*; e a Infraestrutura de Armazenamento trata-se do ambiente on-line para mantimento e acesso dos dados cardíacos.

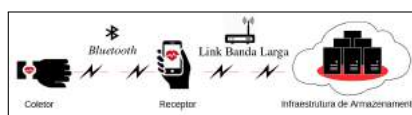


Figura 6. Arquitetura Móvel para Identificação de Anomalias Cardíacas.

6. Conclusão

Mudanças anormais nos batimentos cardíacos podem significar enfermidades. O custo de exames tradicionais em clínicas varia conforme o método. O valor médio para um cardiopata que realiza quatro exames anuais fica por volta de R\$ 229,40 (ECG) a R\$805,40 (método Holter). A Mi Band 2 se torna uma alternativa vantajosa por ter um custo baixo, mobilidade e acurácia.

A Arquitetura apresentada busca prover um diagnóstico rápido e com uso de tecnologia de baixo custo, a pulseira Mi Band 2. Sendo assim possível encontrar variações e anomalias que podem auxiliar médicos e pacientes no tratamento.

Referências

- Aubert, A., Seps, B., and Beckers, F. (2003). Heart rate variability in athletes. *Sports Med.*
- Garbey, M., Sun, N., Merla, A., and Pavlidis, I. (2007). Contact-free measurement of cardiac pulse based on the analysis of thermal imagery. In *Transactions on Biomedical Engineering*. IEEE.
- Holter, N. (1961). New method for heart studies: Continuous electrocardiography of active subjects over long periods is now practical. *Science*.
- Massot, B., Risset, T., Michelet, G., and McAdams, E. (2015). A wireless, low-power, smart sensor of cardiac activity for clinical remote monitoring. In *E-health Networking, Application Services (HealthCom)*. IEEE.

⁷www.americanas.com.br/produto/21905590/pulseira-inteligente-xiaomi-mi-band-2-preta-para-android-e-ios-pulseira-silicone. Acesso em 04.05.2017

⁸<http://www.techtudo.com.br/dicas-e-tutoriais/noticia/2011/05/aprenda-monitorar-seus-batimentos-cardiacos-usando-o-seu-celular.html>

18º CQ - Curso de Qualidade

Apresentação

O Curso de Qualidade no Ensino da Computação é um evento realizado pela Comissão de Educação da SBC e tem como finalidade principal propiciar a discussão com a comunidade acadêmica, representada principalmente pelos professores e coordenadores de curso da área de Computação, temas relacionados a metodologias de ensino, projeto e avaliação de cursos, escopo de disciplinas e o processo de ensino e aprendizagem.

A 18ª edição (CQ 2017) realizada no dia 02 de julho, como parte do XXXVII Congresso da Sociedade Brasileira de Computação (CSBC 2017), na cidade de São Paulo/SP. A programação estabelecida contou com as seguintes atividades:

1. A palestra de abertura proferida pela profa. Suzana Funghetto, abordou a questão da avaliação institucional.
2. A profa. Marili Vieira e o prof. Fabio Lopes ministraram o minicurso sobre princípios pedagógicos envolvidos na formalização de currículos do ensino superior.
3. O painel ENADE 2017 contou com a presença da Coordenadora Geral do ENADE, Alline Nunes Andrade, além dos membros das comissões assessoras da área de Computação: Ana Paula Gonçalves Serra, Angelo Sebastião Zanini, Leandro Silva Galvão de Carvalho, Marcelo Duduchi Feitosa e Paulo Henrique Mendes Maia.
4. Bem como, os membros das comissões assessoras da área de computação, onde discutiram-se as expectativas da prova a ser realizada em novembro/2017.
5. A palestra “O currículo ACM/IEEE frente a realidade Latino-Americana” proferida pelo prof. Ernesto Cuadros Vargas fechou o evento.

O curso contou ainda com 60 participantes, entre diretores, coordenadores, professores, pesquisadores e profissionais envolvidos com a formação de profissionais de computação.

Agradecemos a todos que estiveram direta ou indiretamente envolvidos com o evento esperamos ter promovido um fórum de discussão saldável e motivador para todos que compartilham o desejo por mais qualidade na Educação em Computação.

Ronaldo Celso Messias Correia (FCT/UNESP) e Fabio Silva Lopes (Mackenzie)

Comitê Organizador

Coordenação Geral

Ronaldo Correia (UNESP)

Coordenação Local

Fabio Silva Lopes (Mackenzie)

19º COMPUTEC - Seminário de Computação e Mercado

Apresentação

O COMPUTEC aborda a área de Computação desde uma perspectiva da tecnologia e da inovação, defendendo o incremento da cooperação e da interação entre as universidades, as empresas, a sociedade e os diferentes níveis e esferas de governo. Esta reflexão proposta pelo COMPUTEC está inserida em um contexto nacional de forte prioridade das agências de fomento governamentais para a área de inovação e transferência de tecnologia, estimulando a ampliação da cooperação entre as universidades, as empresas, a sociedade e o governo. Neste sentido, o COMPUTEC está organizado de forma a identificar e analisar grandes e importantes desafios e oportunidades em inovação e desenvolvimento tecnológico, principalmente na área de Computação, no contexto da Hélice Tripla. Ao propiciar esta reflexão e discussão, com destacados representantes da academia, das empresas, da sociedade e do governo, pretende-se contribuir consideravelmente para o avanço da Computação no Brasil.

No COMPUTEC as ideias são apresentadas e discutidas por meio de painéis e palestras que abordam os temas propostos em diversos aspectos tais como a interação universidade-empresa, inovação tecnológica, transferência auto-sustentada para a sociedade, pesquisa aplicada, oportunidades e desafios e programas governamentais na área de inovação. Logo, os pronunciamentos de representantes dos setores público e privado, abordando políticas públicas, estratégias de desenvolvimento, visões de mercado e perspectivas futuras, deverão trazer à discussão temas extremamente relevantes àqueles que estão prospectando novas oportunidades e buscando preparar-se para um melhor entendimento dos desafios para os diversos atores públicos e privados envolvidos, nas áreas acadêmicas (docentes, pesquisadores e estudantes), empresariais e governamentais.

Comitê Organizador

Coordenação Geral

Renato Cerqueira (IBM)

Coordenação Local

Vinicius Miana Bezerra (Mackenzie)

25° WEI - Workshop sobre Educação em Computação

Apresentação

O WEI, Workshop sobre Educação em Computação, é o mais importante fórum brasileiro, promovido pela SBC, que traz uma oportunidade única de pesquisadores e professores discutirem problemas e temas relacionados à pesquisa, às iniciativas e avaliação da educação na área de Computação. O fórum discute diferentes temas relacionados à área, apresentando novos estudos, metodologias, ferramentas e discutindo experiências vividas em todo o Brasil.

Em sua 25ª edição, o WEI traz a discussão do ensino de Computação no contexto do tema “Como ensinar computação para tudo e para todos”. As atividades previstas para o WEI têm o intuito de promover ampla discussão sobre o tema, compreendendo apresentação de artigos, além de uma palestra convidada, e grupos de trabalho (fóruns de discussão). Esses grupos têm atuado na discussão acerca dos currículos de referência da SBC, além de discutir outras questões relativas aos cursos de graduação e pós-graduação da área de Computação.

Nesta edição, foram recebidas 100 submissões válidas de artigos para publicação, dentre artigos de pesquisa, ensaios, relatos de experiências e descrição de ferramentas ou recursos educacionais. Dentre estas, foram aceitos 25 artigos, sendo 6 artigos de pesquisa, 13 artigos de intervenção ou relato de experiências, 4 artigos de ferramentas ou recursos educacionais, e 2 ensaios. Para o Comitê de Programa, cinco destes trabalhos se destacaram e concorrerão, durante o XXXVII CSBC, ao prêmio de Best Paper WEI 2017.

Aos autores, palestrante e demais membros da comunidade que contribuíram para a realização de mais uma edição do workshop, um agradecimento especial pelo reconhecimento e confiança no evento. Nosso agradecimento e gratidão ao Comitê de Programa e aos revisores externos pelo excelente trabalho de avaliação de artigos, e pela disponibilidade dedicada ao WEI, pois sem eles o WEI não aconteceria.

Esperamos que os trabalhos que compõem este XXV WEI sejam inspiradores de novos estudos e intervenções no campo da educação em Computação. A todos os participantes nossas boas vindas e o desejo de que todos possam aproveitar ao máximo os eventos que compõem esta edição do Workshop sobre Educação em Computação!

Leandro Galvão (UFAM), Simone Martins (UFF)

Comitê Organizador

Coordenação Geral

Leandro Galvão (UFAM), Simone Martins(UFF)

Coordenação Local

Ismar Frango Silveira (Mackenzie)

Comitê de Programa

Alexandre Cidral (Univille), André Campos (UFRN), André Drummond (UnB), André Lemos (IFTM), Anna Schwarzelmuller(UFBA), Carina F. Dorneles (UFSC), César França (UFRPE), Christiane Gresse von Wangenheim (UFSC), Clodis Boscaroli (Unioeste), Cristiano Maciel (UFMT), Daltro Nunes (UFRGS), Danielle Rousy Silva (UFPB), David Moises Barreto dos Santos (UEFS), Débora Abdalla (UFBA), Debora Paiva (UFMS), Ecivaldo Matos (UFBA), Edmundo Spoto (UFG), Edson P. Pimentel (UFABC), Elaine Oliveira (UFAM), Eleandro Maschio (UTFPR), Esteban Clua (UFF), Fernanda Lima (UnB), Igor Steinmacher (UTFPR), Isabel Nunes (UFRN), Jair Leite (UFRN), Jeane Melo (UFRPE), José Palazzo Moreira de Oliveira (UFRGS), José Maria David (UFJF), Juliana Diniz (UFRPE), Lucia Giraffa (PUC-RS), Luiz Merkle (UTFPR), Marcelo Duduchi (FATEC-SP), Marco Winckler (Université Paul Sabatier), Marcos Borges (Unicamp), Maria Augusta Vieira Nelson (PUC Minas), Marília Amaral (UTFPR), Morganna Diniz (UNIRIO), Noemi Rodriguez (PUC-Rio), Raquel Prates (UFMG), Renata Araujo (UNIRIO), Roberto Bittencourt (UEFS), Ronaldo Correia (UNESP), Ronaldo Mello (UFSC), Silvia Amelia Bim (UTFPR), Sonia França (UFRPE), Taciana Pontual Falcão (UFRPE), Taisy Weber (UFRGS), Vanessa Branganholo (UFF), Vaninha Vieira (UFBA), Wilson Veneziano (UnB), Yuska Paola Costa Aguiar (UFPB)

Revisores Convidados

Ailton Ribeiro (UFBA), Alessandra Oliveira (UFJF), Ana Paula Kuhn (UFMT), André Luiz Moura (UFG), Angelo Frozza (IFC), Bruno Lopes (UFF), Cleuton Almeida (CESAR.EDU), Cristiane Ferreira (UFG), Daniel Floriano (UFBA), David Ramos (UFAM), Dirlene Silva (UFMT), Dyego Morais (UFPE), Elidiane Santos (UFBA), Eliomar Lima (UFG), Elizaine Bagatelli (UFMT), Fabio Campinho (UFBA), Fabio Lucena (UFG), Felipe Furtado (CESAR.EDU), Filipe Dwan (UFRR), Geomar Schreiner (UFSC), Giani Petri (UFMS), Isabel Cafezeiro (UFF), Iwens Sene Jr (UFG), Jaziel Lobo (IFS), Jean Rosa (UFBA), Jeniffer C. F. Jeniffer (UFRPE), Jonas Mendonça (UFAM), Karen Figueiredo (UFMT), Karina Mochetti (UFF), Lenice Miranda Alves (UFG), Leonardo Murta (UFF), Luciana Berretta (UFG), Marcia Souza (CESAR.EDU), Maria Clara Pestana (UFBA), Nathalia Alves (UFSC), Rita Berardi (UTFPR), Rodrigo de Carvalho (PUC Minas), Rogério Eduardo Garcia (UNESP), Rosemery Petter (UFMT), Sergio T. Carvalho (UFG), Tadeu Classe (UFRJ), Tancicleide Gomes (UFPE), Troy Kohwalter (UFF), Victor de Almeida (UFF), Vinicius Pereira (UFMT), Vinod Rebello (UFF), Walquíria Lins (CESAR.EDU), Wanderley Alencar (UFG)

Palestras

Establishing Computing Curricula: An Evolving Professional Endeavor

This presentation provides a historical landscape of curricular development in computing that has occurred over decades together with an overview of the structure of new curricular documents. Publications such as Curriculum'68, Curriculum'78, and Computing Curricula'91 have provided pathways for worldwide advances in the computing and computer engineering curricular fields. Over the years, these efforts have resulted in a series of documents with activities that are ongoing even today. This discussion summarizes the development of new and emerging curricular models suitable for computing related programs and shows ways in which these documents have provided greater expansion of technical elements and pedagogical ways of learning. The speaker explains why "knowledge" is no longer sufficient to become a practicing computing or engineering specialist. Additionally, he highlights reasons why graduating students must learn to demonstrate performance competencies guided by learning expectations supported by human skills in addition to mathematics and science. The presentation also delves into contemporary activities that have taken place or are taking place on a global scale with a focus on computer engineering and information technology. Audience participation is a component of this presentation.

Bio: Professor emérito de Ciência da Computação na Hofstra University, Nova York, onde foi chefe de departamento e diretor do programa de pós-graduação. Atualmente atua como consultor e especialista em vários países nas áreas de currículos, avaliação, acreditação e outras atividades relacionadas. Representou a IEEE Computer Society na Força Tarefa 2004 Computer Engineering, onde trabalhou como co-autor e editor do IEEE/ACM Computer Engineering Curriculum Report (CE2004). Além disso, foi um participante ativo da força tarefa que produziu o ACM/IEEE Computing Curricula 2005 Report. Atualmente, ele preside o comitê de direção da ACM / IEEE Computer Engineering CE2016, é membro do grupo de tarefas ACM / IEEE IT2017 que está produzindo novas diretrizes curriculares para o curso de Tecnologia de Informação, e participa do projeto CC2020 que será uma revisão de um dos mais citados documentos de currículo de computação chamado Computing Curricula 2005, também conhecido como CC2005.

Trabalhos aceitos

Ensino de Raciocínio Lógico e Computação para crianças: Experiências, Desafios e Possibilidades

Thâmilys Marques de Oliveira, Willmara Marques Monteiro, Fábio Cristiano Souza Oliveira, Danielle Juliana Silva Martins, Alessandra Luengo Latorre da Silva

Gamificação para o Ensino de Computação na Educação Básica

Michel Giroto Brum, Marcia E. J. Kniphoff da Cruz

Pensar para Programar: Projeto de Ensino no Curso Técnico em Informática

Wagner dos Santos Marques, Paulo Silas Severo de Souza, Jaline Gonçalves Mombach

A percepção dos professores sobre a prática da interdisciplinaridade no ensino de computação para escolares

Euma Silva Santos, William Fabian Machado Vera, Ecivaldo de Souza Matos

Relato sobre o desenvolvimento e uso de objeto de aprendizagem com elementos de aprendizagem baseada em problemas no contexto de Computação para Engenharias

Narci Nogueirada Silva, Marco Aurélio Graciotto Silva

Projeto Aprenda a Programar Jogando: Divulgando a Programação de Computadores para Crianças e Jovens

Julia Godinho, Kathleen Torres, Gabriel Batista, Eduardo Andrade, Janaína Gomide

Contribuições da Extensão Universitária na formação social, acadêmica e profissional dos estudantes de Computação

Juliana Maria Oliveira dos Santos, Cíntia Mercês Souza, Taiala Almeida Santos, Pietro Matheus Bompert Fontoura Alves, Débora Abdalla Santos

Workshop de GNU/Linux: incentivando o uso de softwares livres nos cursos de informática

Aellison Cassimiro T. dos Santos, Aline M. Araujo, Bianca Karla A. de S. Melo, Diego Filipe S. de Lima, Diogo V. Dantas, Igor N. dos Santos, Marcos Henrique A. da Silva, Matheus Lima M. de Araújo, Matheus Maranhão R. Praxedes, Paulo R. P. da Silva

A Utilização do Scratch como Ferramenta no Ensino de Pensamento Computacional para Crianças

Alexandre Hild Aono, Hugo Vianna Silva Rody, Daniela Leal Musa, Vanessa Andrade Pereira, Jurandy Almeida

Apoiando o Ensino de Diagrama de Atividades através de um jogo educacional

Williamson Silva, Igor Steinmacher, Tayana Conte

Experimentando a Multidisciplinaridade no Desenvolvimento de Apps

Daniela F. Brauner, Raquel Janissek-Muniz, Lisandro Zambenedetti Granville, Karina Moura, Sandro Fetter, Gabriel Nazar

Programação para todos: Análise Comparativa de Ferramentas Utilizadas no Ensino de Programação

Silvino M. da Silva Junior, Sônia V. Alves França

Progress Code: uma Ferramenta para Monitorar o Progresso de Alunos no Ensino Não-formal de Programação

Lucas F. Silva, Iago C. Corrêa, Andrea S. Charão, João V. F. Lima

AGILITY SCRUM – Um Jogo para Ensino da Metodologia SCRUM

Ronney Moreira de Castro, Sean Wolfgang Matsui Siqueira, Denilson Novais de Almeida, Felipe Calegario Nascimento

Proposta e Adaptação de Atividades Desplugadas para o Ensino de Computação na Educação Básica

Ariane N. Rodrigues, Renato H. de Oliveira Lopes

Logic in a Logic Way: um Aplicativo para Exercitar a Resolução de Problemas de Lógica da Olimpíada Brasileira de Informática

Rafael Gauna Trindade, Cassiano Andrei Dias da Silveira Schneider, Andrea Schwertner Charão

Um Relato de Experiência da Implantação de um Modelo de Fábrica de Software Escola (FaSEs)

Edmilson Barbalho Campos Neto, Alba Sandrya Bezerra Lopes, Diego Silveira Costa Nascimento

Uma experiência de aplicação de uma abordagem baseada em problemas no ensino de Teoria da Computação em sala de aula tradicional

Luiz Otávio Ramos Gavaza, Laís do Nascimento Salvador, David Moises Barreto dos Santos

Grau de Dificuldade de Problemas de Programação Introdutória: Uma Revisão Sistemática da Literatura

Rodrigo Elias Francisco, Cleon X. Pereira Júnior, Ana Paula Ambrósio

Collaborative Encyclopedia of Algorithms - Algpedia

Thais N. Viana, João C. P. da Silva, Carla A. D. M. Delgado, Carlos Eduardo da S. Martins, Fernando R. Gouvêa

Motivação de Estudantes Non-Majors em uma Disciplina de Programação

Bianca L. Santana, Jose Solenir L. Figuerêdo, Roberto A. Bittencourt

Game Logic: Um jogo para auxiliar na aprendizagem de lógica de programação

Dorgival Netto, Luiz Mario Medeiros, Daniel de Pontes, Edilson de Morais

Apoio ao ensino de análise e projeto de software usando a plataforma Arduino

Bruno Lima, Guilherme Mattiello, Luis Galonetti, Murylo Lopes, Rhuan Costa, Andre R. Ortoncelli, Paulo Nardi, Andre T. Endo

5 Minutos de Programação em Exibições

Christiane Gresse von Wangenheim, Aldo von Wangenheim, Fernando S. Pacheco, M. Nathalie F. Ferreira, Jean C. R. Hauck

Evolução de um Modelo de Avaliação de Jogos para o Ensino de Computação

Giani Petri, Christiane Gresse von Wangenheim, Adriano Ferreti Borgatto

Ensino de Raciocínio Lógico e Computação para crianças: Experiências, Desafios e Possibilidades

Thâmillys Marques de Oliveira¹, Willmara Marques Monteiro¹, Fábio Cristiano Souza Oliveira¹, Danielle Juliana Silva Martins¹, Alessandra Luengo Latorre da Silva¹

¹Instituto Federal de educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano – Campus Petrolina (IF SERTAÔ - PE). Departamento de Licenciatura em Computação. Caixa Postal 15.064 – 91.501-970 – Petrolina – PE – Brazil

{thamillysmarques@gmail.com, willmaramarques@gmail.com,
fabio.cristiano@ifsertao-pe.edu.br}

Abstract. This work reports an experience of teaching Logical Reasoning and Computational Thinking to students basic education from public schools of the state of Pernambuco using dynamics, gamification and robotics.

Resumo. *Este trabalho relata uma experiência de ensino de Raciocínio Lógico e Pensamento Computacional para alunos da educação básica da rede pública do estado de Pernambuco com o emprego de dinâmicas; gamificação e robótica educacional.*

1. Introdução

No Brasil, atualmente, o estudo dos conceitos relativos a computação ou informática é reservado a pessoas que escolhem cursar graduação ou pós-graduação na área. Contudo, o ACM Model Curriculum for K-12 Computer Science (CSTA, 2011) diz que o ensino da computação deve se estender a todos os profissionais nas diversas áreas (saúde, engenharia, esportes, entretenimento, comunicação...). E vai além, defende que o ensino do pensamento computacional deve ser ofertado também na educação básica.

Segundo Paulo Blinkstein, o pensamento computacional é um processo de pensar envolvido na formulação de problemas e das suas soluções, tendo como base os fundamentos da Ciência da Computação (BLINKSTEIN, 2008). O autor enfatiza que o pensamento computacional faz parte de uma série de habilidades necessárias ao pleno exercício da cidadania neste século.

Nesse contexto o ensino da computação se difere do ensino da informática. Ensinar apenas aplicativos como processador de texto e planilha eletrônica seria como ensinar a usar calculadoras e não a calcular, no ensino da Matemática (NUNES, 2008). Ensinar conceitos básicos de computação é fundamental para desenvolver nas crianças criatividade, raciocínio lógico, dinamismo e pensamento algorítmico.

Tanto o pensamento computacional como o raciocínio lógico, promove uma maior capacidade de dedução e conclusão de problemas (SICA, 2011). Isto é altamente

*Ferramenta gratuita para criação de *quiz* online

encorajado pela Sociedade Brasileira de Computação, que afirma que o ensino da computação deve ser implantado no Ensino Fundamental, assim como outras ciências.

Considerando a relevância do que foi exposto, este trabalho apresenta um relato de ensino de raciocínio lógico e computação para crianças, decorrentes de atividades desenvolvidas no Projeto Programadores do Futuro do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, campus Petrolina, no ano de 2016. As metodologias, bem como os resultados obtidos, basearam-se na realização de atividades lúdicas, através de dinâmicas, de estratégias de gamificação e robótica educacional.

Este trabalho apresenta a seguinte estrutura: na seção 2 será apresentada uma breve descrição do projeto; na seção 3 serão apresentados conceitos de gamificação e gamificação na educação; na seção 4 será apresentado o conceito de robótica educacional; na seção 5 estão descritos os passos das metodologias utilizadas e na seção 6 os resultados obtidos.

2. Programadores do Futuro

O Projeto “Programadores do Futuro” surgiu inicialmente com a proposta de preparar crianças e jovens para a Olimpíada Brasileira de Informática (OBI), visando desenvolver habilidades necessárias ao século XXI, como a concentração, o raciocínio lógico e matemático, sistematização do pensamento, entre outros. No primeiro ano obteve-se a participação de 125 crianças da comunidade local.

Os resultados obtidos no ano de 2015 demonstraram que o Projeto logrou êxito. Assim, para 2016 foram feitos aperfeiçoamentos, que incluíam além do treinamento para a OBI, uma inserção de conteúdos relacionados ao pensamento computacional e robótica educativa com a estratégia de gamificação. Todas as aulas eram ministradas por alunos da instituição; licenciandos em computação e alunos do ensino médio integrado ao técnico em informática.

Neste artigo será relatada a experiência vivenciada por uma aluna do curso Licenciatura em Computação do IF Sertão PE, em aulas ministradas no Projeto “Programadores do Futuro” em uma turma de 15 alunos, no período de Janeiro à Novembro de 2016.

3. O que é a gamificação?

A gamificação (do inglês “*gamification*”) tem sido abordada por muitos estudiosos, pesquisadores e curiosos nos últimos anos. Alguns a chamam de fenômeno (FARDO, 2013); técnica (BORGES et al. 2013); metodologia (ROCHA, 2014); entre outros. O termo começou a ser utilizado em 2010 e se originou como metodologia aplicada a *marketing* e aplicações para a *web* com a finalidade de engajar e fidelizar clientes (ZICHERMANN e CUNNINGHAM, 2012).

A gamificação tem como base o pensar como se de fato estivesse em um jogo, utilizando sistemáticas, regras e mecânicas do ‘jogar’ em um contexto de não jogo (JUCÁ e ROLIM, 2013). Ela serve como possibilidade de resolução de problemas e engajamento de um determinado público. Contudo, segundo Vianna et al. (2013), isso não significa necessariamente, a utilização de jogos ou até mesmo tecnologias computacionais e gráficas, mas à aplicação de elementos de jogos – dinâmicas,

*Ferramenta gratuita para criação de *quiz* online

ludicidade, pontuação, regras, estética – para se alcançar os objetivos obtidos com o ato de jogar.

Zichermann e Cunningham (2011) afirmam que a gamificação aprofunda os níveis de envolvimento do indivíduo para a resolução de problemas. Segundo os autores as pessoas são induzidas a jogar por quatro motivos específicos: para alívio do *stress*; obtenção de domínio sobre determinado conteúdo; como meio de socialização e entretenimento. Além disso, os autores abordam aspectos de diversão durante o ato de jogar: quando há uma competição e o jogador procura obter a vitória; quando há a imersão na exploração de um universo; quando há envolvimento entre os jogadores e quando o jogador tem sua emoção alterada pelo jogo.

Neste aspecto, pode-se utilizar gamificação em ambientes onde o público necessita de um estímulo (CAMPOS et al. 2015). Em se tratando de mecânicas de jogos, Vianna et al. (2013) salienta que motivação baseia-se em experiências vivenciadas por pessoas, buscando novas perspectivas. Permitindo um estímulo à criatividade, a autonomia de pensamento e proporcionando bem-estar ao jogador.

3.1. A Gamificação na Educação

Direta ou indiretamente o jogo sempre está presente no cotidiano das pessoas. Segundo Orrico (2012) no mundo existem 1,2 bilhões de jogadores, onde 700 milhões jogam online, correspondendo a 44% da população online. Kapp et al. (2012) cita em seu livro “*The gamification of learning and instruction*” que o game possui aspectos bem distintos: regras, interatividade, *feedback* das ações do jogador... Gerando envolvimento emocional. Também potencializam a aprendizagem em diversas áreas (OLIVEIRA et al. 2016).

Um ponto imprescindível nos jogos é a liberdade de escolha, querer jogar depende exclusivamente do jogador (BITENCOURT, 2014). Remetendo ao ambiente educacional o jogo perde seu principal elemento, pois, comumente está inserido em processos de ensino aprendizagem (ALVES, 2014).

É sumamente importante evidenciar que a gamificação não propõe a criação de jogos para o ensino, mas, o uso de estratégias e do raciocínio presentes nos jogos, para resolução de problemas (OLIVEIRA et al. 2016).

No tocante a forma de inserção no ambiente educativo, varia de acordo com o público e objetivos a serem atingidos (LEADLEY, 2011). Pode-se inserir mecanismos de jogos – pontos, recompensas, tabelas de líderes – para envolver os indivíduos; ou buscar uma experiência mais exímia, trazendo os jogadores para o contexto em que estão trabalhando (ALVES, 2014).

Um exemplo de gamificação na educação amplamente difundido é o da Escola pública de Nova York Quest To Learn (Q2L), fundada em 2009. A Escola entrou para a história como a primeira a possuir o currículo baseado em jogos; e atende alunos do 6º ano do ensino fundamental até o 3º ano do ensino médio. Nela os alunos são instigados a participar ativamente dos processos de ensino-aprendizagem. Exatamente como objetiva a gamificação (WERBACH e HUNTER, 2012).

*Ferramenta gratuita para criação de *quiz* online

Gamificar pode ser uma palavra prioritária na educação para construção de uma rede colaborativa e dinâmica onde docentes e discentes unem-se na empreitada de aprender de forma lúdica, sem preocupações com escalas de médias e desempenhos quantitativos (JOHNSON, 2011). Entretanto, é importante salientar que resgatar a alegria do aprender no ambiente escolar vai além dos elementos que compõem a gamificação (FARDO, 2013).

4. Robótica Educacional

Steffen (2009) define a robótica como uma área do conhecimento relativa ao controle e construção de robôs. Robô é uma derivação da palavra de origem tcheca *robotnik* que quer dizer “servo”. Através do bioquímico Isaac Asimov popularizou-se o termo robô. O famoso cientista escreveu inúmeras publicações envolvendo a temática.

No meio educacional a robótica pode ser interpretada como o emprego da robótica industrial, isto é, inserção de conceitos básicos de inteligência artificial, mecânica, cinemática, hidráulica, informática, automação, em um ambiente de aprendizagem (STEFFEN, 2009). As atividades desenvolvidas neste ambiente (construção e controle de dispositivos com kits de montar ou matérias como sucata) devem propiciar o manuseio e a construção de novos conceitos.

Aos que buscam viabilizar o conhecimento nas diversas disciplinas escolares e, ao mesmo tempo estimular a experimentação e criatividade, pode recorrer à robótica educativa. Desse modo, o estudante conhece aplicações práticas ligadas a assuntos que estão presentes em seu cotidiano, pois a robótica requer conhecimentos de matemática, geografia, física, mecânica, programação, inglês, dentre outros (CRUZ et al. 2007). Santos e Menezes fazem menção a robótica educativa como um caminho que proporciona aos alunos a capacidade de elaboração de hipóteses, investigação de soluções, resolução de problemas, pensamento computacional e aprendizagem colaborativa.

Nesse contexto a robótica educacional se destaca por disponibilizar demasiadas oportunidades de criar soluções voltadas ao mundo real, possibilitando ao aluno um aprendizado estimulante e dinâmico.

5. Metodologias utilizadas

A seguir serão apresentadas as metodologias utilizadas para o ensino de raciocínio lógico e pensamento computacional em uma turma de 15 alunos com faixa etária entre 11 e 14 anos. As aulas ocorreram em laboratórios de informática, laboratório interdisciplinar (robótica), salas de aula, pátio e ao ar livre. O curso completo teve a duração de 120 horas, e realizava-se aos sábados de 08:30 às 11:30 da manhã.

5.1. Atividades Lúdicas e Gamificação

Um dos objetivos prioritários do curso era preparar os alunos para a competição da OBI. Para tal, o ensino de raciocínio lógico era fundamental, bem como treinamento das provas de edições anteriores. Assim, buscou-se metodologias que atraíssem os alunos a compreensão dos conceitos abstratos à eles. No início das aulas foram realizadas

*Ferramenta gratuita para criação de *quiz* online

dinâmicas de conhecimento e ‘quebra gelo’, onde os alunos puderam se apresentar e conhecer os demais colegas.

Cada aula acontecia em um encontro semanal de 03 horas. Pouco conteúdo teórico era passado, devido a necessidade de exercitar a mente para um raciocínio mais lógico. Porém, ficar apenas resolvendo questões exaustivamente não é o ideal de aula para alunos de ensino fundamental. Assim, ao término de cada aula eram realizadas pequenas dinâmicas que culminariam em uma maratona com ludicidade e gamificação. As atividades iniciais ocorreram com intuito de revisar os conteúdos para a OBI de maneira mais divertida. A primeira etapa foi um *quiz* feito na ferramenta online *Kahoot** que simula um jogo, onde cada aluno entra com um nome de jogador e deve responder as questões corretamente o mais rápido possível. Foram 25 perguntas de raciocínio lógico e ao término a equipe vencedora recebeu 20 pontos em seu placar.



Figure 1. Primeira etapa da maratona - utilização da ferramenta Kahoot.

A ferramenta apesar de simples proporcionou um momento de diversão e desafio. Os alunos responderam as questões sem reclamar, o *feedback* era imediato, quando acertavam a tela ficava verde, e os mais empolgados gritavam e corriam em comemoração, mas logo tinham que retornar e se concentrar, pois o *quiz* exigia muita concentração e pensamento rápido.

As etapas seguintes envolviam atividades de raciocínio e físicas, por isso foram realizadas no pátio, e envolveram grande parte da estrutura da instituição. Como os campos e corredores. A segunda prova da maratona consistia em uma corrida, a equipe que chegasse primeiro ao objetivo liberaria uma questão de Raciocínio Lógico que se respondida corretamente somaria a equipe o valor de 50 pontos.

*Ferramenta gratuita para criação de *quiz* online

Em seguida outra corrida, porém com caça ao tesouro, a equipe tinha que encontrar um balão que continha uma pergunta. Aquele que encontrasse e trouxesse o balão primeiro, poderia responder a pergunta, caso acertasse teria 100 pontos acrescidos em seu placar. Na última prova prática todos os participantes teriam balões amarrados em seu tornozelo, dentro de cada balão uma pergunta sobre os conteúdos da OBI como mostra a figura 2. O objetivo era dentro do tempo de 3 minutos tentar estourar a bexiga dos adversários e proteger a sua. Ao término a equipe que tivesse mais perguntas (balões não estourados), poderia responder e somar uma pontuação de até 500. O interessante nesta prova é que uma única equipe conseguiu ficar com todos os balões intactos. Eles montaram uma estratégia de escolher um único adversário e atacar todos juntos, assim também como a defesa. Neste caso a união foi a melhor estratégia e lhes garantiu a vitória.



Figure 2. Última etapa da maratona - utilização da Caça ao Tesouro.

Foi observado que os estudantes se sentiram motivados e envolvidos com os conteúdos. As atividades lúdicas e a utilização de mecânicas de jogos (gamificação) na revisão dos conteúdos auxiliou na quebra de tensão provocada pelo período de pré-prova. A alegria exposta pelos participantes, até mesmo os que não tiveram a pontuação máxima do final, mostra que é possível cativar os alunos com a metodologia adequada (SOARES, 2005).

5.2. Robótica Educacional

As aulas de Robótica Educacional se iniciaram após a primeira etapa da prova da OBI. Os alunos foram apresentados ao Kit *Legó Mindstorms* que é formado por um conjunto de peças da linha tradicional (rodas, tijolos cheios, placas) e da linha *Legó Technic* (Motores, eixos, engrenagens, correntes, tijolos vazados), acrescido de sensores de toque, intensidade luminosa, som e de temperatura, controlados por um processador programável, denominado módulo NXT.

Também aprenderam o embasamento teórico sobre robótica; o que ela é, para que serve, como utilizá-la, etc. Após o período de aprendizagem inicial eles começaram as montagens. Robôs simples, como carrinhos, garras, guindastes, para conhecerem o funcionamento das peças, motores e sensores. Concomitante a isso foram- apresentados

conteúdos de programação da ferramenta, com a IDE (Ambiente de Desenvolvimento Integrado) NXT *mindstorms* 2.0 que funciona de modo intuitivo, trabalhando com programação em blocos.

No decorrer do curso a turma foi convidada a participar da Semana Nacional de Ciência e Tecnologia do IF Sertão PE. Assim iniciaram-se os projetos para apresentação na mesma. Os alunos tiveram a possibilidade de escolher em que queriam trabalhar, sob condição de remeterem a uma disciplina ou demonstrassem sua finalidade social. Quatro projetos foram idealizados pelos estudantes e eram compostos de robôs e maquetes construídas pelos mesmos como vistos na figura 3 abaixo:

- 1- **Robô Coletor de Lixo:** O robô tinha o objetivo de remover o lixo de um rio e leva-lo ao local ideal. Sempre pensado na maneira mais rápida e eficaz de realizá-lo. A justificativa dos alunos foi a percepção de que um rio presente no município de Petrolina estava sujo, e deveriam conscientizar as pessoas através de seu projeto.
- 2- **Robô Salva-Vidas:** Este objetivava o resgate de uma pessoa em local de risco. O robô deveria localizar a pessoa, captura-la e a levar a um local seguro. Os alunos defenderam seu projeto argumentando que seria arriscado para outras pessoas realizarem o resgate em um local de perigo, pois poderiam colocar a vida de ambas em risco. Assim, o robô seria mais preciso, rápido e eficiente nessa tarefa.
- 3- **Robô Humanoide:** é um robô com aparência global, baseada na aparência do corpo humano, permitindo interações com o ambiente, ferramentas ou com o ser humano. Diferente dos projetos anteriores este surgiu com a proposta de atrair o público infanto-juvenil do evento, demonstrando que a realidade da robótica não está distante das pessoas, e que até mesmo crianças podem construir um robô tão atrativo.
- 4- **Robô Escorpião:** É um robô com formato de escorpião. Ele reage a movimento, atacando o objeto ou pessoa que interferir em seu caminho. Após inúmeras pesquisas, o grupo responsável por este projeto, percebeu que o escorpião é um animal discreto (desaparece durante o dia e surge a noite) e hábil (age rapidamente a estímulos), assim defenderam que além da diversão de possuir uma reprodução de um animal que interagisse com o público; eles poderiam utilizar para enviá-lo a locais de risco a humanos portando uma pequena câmera e buscando informações.



Figure 3. Projetos e Aulas de Robótica Educacional.

Após essa etapa os alunos encerraram o curso e receberam medalhas de honra e a certificação.

6. Resultados e Considerações Finais

Os resultados demonstraram que as metodologias aplicadas são excelentes para o aprendizado. A experiência foi satisfatória, pois os alunos se sentiram mais motivados e engajados em todo processo. Exemplo disso é o ‘Aluno 1’, que não participava das aulas e após a metodologia começou a se envolver, responder questões e criar vínculos de amizade com os demais.

Os resultados podem ser comprovados através da visão dos alunos que foram entrevistados e opinaram sobre o curso: **“A minha preferida foi a maratona, quando a professora disse que era ‘pra’ vir de tênis eu até tive vontade de acordar mais cedo.”** – ‘Aluno 2’ (11 anos). **“Eu adorei a maratona, e também o jogo com as perguntas, foi a melhor aula da minha vida.”** – ‘Aluno 4’ (12 anos). **“Esse curso é muito bom porque meus pais não tem como pagar um curso desse pra mim e eu recebi de graça, e aprendi robótica e programar que foi o que mais gostei.”** – ‘Aluno 5’ (13 anos). **“No início estava meio confusa cheguei até a me perguntar “o que eu estou fazendo aqui?” Eu não consegui essa resposta com 1 ou dois dias demorou meses mais hoje eu tenho essa resposta” eu estou realizando um sonho” valeu a pena cada esforço, cada reclamação, acordar cedo nos dias de sábado, a única palavra que tenho em mente agora é GRATIDÃO; gratidão por todos os professores que acordava cedo sem ganhar nada, sei que nada vai retribuir isso, tudo que eu tenho ‘pra’ dar é um sorriso, um abraço e um obrigado.”** – ‘Aluno 6’ (14 anos).

Com isso, conclui-se que a abordagem apresentada demonstrou impactos significativos sobre a participação em sala de aula, e também indícios de que aumenta a atenção aos conteúdos. Com estes resultados é possível acreditar que as metodologias apresentadas conseguem aumentar a motivação dos alunos no estudo, tornando-os mais diligentes.

Espera-se que o desenvolvimento de ações como estas venham a acrescentar as pesquisas no país sobre o ensino do Raciocínio Lógico e Pensamento Computacional, como forma de conscientização de sua necessidade, na Educação Básica.

7. Referências

- A. Orrico. (2012). Mercado brasileiro de games já o quarto maior do mundo e deve continuar a crescer. O Estado de São Paulo, São Paulo. 08 out. 2012. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/tec/1165034-mercado-brasileiro-de-games-ja-e-o-quarto-maior-do-mundo-e-deve-continuar-a-crescer.shtml>>. Acesso em: 01 mai. 2016.
- Bitencourt, R. B. (2014). Experiência de gamificação do ensino na Licenciatura em Computação no Sertão Pernambucano. XIII Simpósio Brasileiro de Games e Entretenimento Digital (SBGames 2014).
- Blikstein, Paulo. (2008). O pensamento computacional e a reinvenção do computador na educação. Disponível em <http://www.blikstein.com/paulo/documents/online/ol_pensamento_computacional.html> Acesso em: 12 de nov. 2016.
- Borges, S. D. S., Reis, H. M., Durelli, V. H., Bittencourt, I. I., Jaques, P. A., & Isotani, S. (2013). Gamificação aplicada à educação: um mapeamento sistemático. In Brazilian Symposium on Computers in Education (Simpósio Brasileiro de Informática na Educação-SBIE) (Vol. 24, No. 1, p. 234).
- Campos, André, Renato Gardiman, and Charles Madeira (2015). "Uma ferramenta gamificada de apoio à disciplina introdutória de programação." 23º WEI-WORKSHOP SOBRE EDUCAÇÃO EM COMPUTAÇÃO.
- Cruz, Marcia Elena Jochims Kniphoff da; Lux, Beatriz; Haetinger, Werner; Engelmann, Emigdio Henrique Campos; Horn, Fabiano. (2007). Formação Prática do Licenciando em Computação para Trabalho com Robótica Educativa. In: XVIII Simpósio Brasileiro de Informática na Educação, São Paulo.
- CSTA - Computer Science Teacher Association. (2011). "CSTA K-12 Computer Science Standards". CSTA Standards Task Force. ACM - Association for Computing Machinery.
- F. Alves. (2014). Gamification: como criar experiências de aprendizagem engajadoras: um guia completo do conceito à prática. 1 ed. São Paulo: DVS Editora.
- Fardo, M. L. (2013). A gamificação aplicada em ambientes de aprendizagem. RENOUE, 11(1).
- Fardo, Marcelo Luis. (2013). A gamificação como método: Estudo de elementos dos games aplicados em Processos de ensino e aprendizagem. Dissertação (Mestrado em Educação) – Universidade de Caxias do Sul, Rio Grande do Sul.

- França, R. S., & do Amaral, H. J. C. (2013). Ensino de computação na educação básica no Brasil: Um mapeamento sistemático. In XXI Workshop sobre Educação em Computação.
- G. Zichermann, and C. Cunningham. (2011). *Gamification by Design: Implementing Game Mechanics in Web and Mobile Apps*. O'Reilly Media.
- Johnson, Steven. (2011). *De onde vem as boas ideias*. Zahar: São Paulo.
- Jucá, P., & Rolim, G. (2013). Gamificação na Disciplina de Empreendedorismo. In XXI Workshop sobre Educação em Computação (WEI) do XXXIII Congresso da Sociedade Brasileira de Computação. Maceió.
- K. Werbach, and D. Hunter. (2012). *For the Win: How Game Thinking Can Revolutionize Your Business*. Wharton Digital Press.
- Kapp, Karl. *The Gamification of Learning and Instruction: Game-based Methods and Strategies for Training and Education*. Pfeiffer, 2012.
- L. Sheldon. *The Multiplayer Classroom: Designing Coursework as a Game*. (2011). Course Technology PTR,
- Nunes, D. J. (2008). "Licenciatura em Computação". *Jornal da Ciência*, 30 de Maio.
- Oliveira, T. M., Bitencourt, R. B., Monteiro, W. M. (2016). Experiências com Gamificação no Ensino de Computação para Jovens e Adultos no Sertão Pernambucano. XV Simpósio Brasileiro de Games e Entretenimento Digital (SBGames 2016).
- Rocha Seixas, L., Gomes, A. S., Melo Filho, I. J., & Rodrigues, R. L. (2014). Gamificação como Estratégia no Engajamento de Estudantes do Ensino Fundamental. In *Brazilian Symposium on Computers in Education (Simpósio Brasileiro de Informática na Educação-SBIE)* (Vol. 25, No. 1, p. 559).
- Santos, Carmen Faria; Menezes, Crediné Silva de. (2005). A Aprendizagem da Física no Ensino Fundamental em um Ambiente de Robótica Educacional. In: *Workshop de Informática na Educação / XXV Congresso da Sociedade Brasileira de Computação*. São Leopoldo.
- Sica, Carlos. (2008). *Ciência da Computação no Ensino Básico e Médio*. Disponível em <<http://www.odiariorio.com/blogs/carlossica/2011/10/07/ciencia-da-computacao-noensino-medio/>> Acesso em: 22 de out. de 2011.
- Smith, A. and Jones, B. (1999). On the complexity of computing. In *Advances in Computer Science*, pages 555–566. Publishing Press.
- Soares, J. F. (2005). *Qualidade e equidade na educação básica brasileira: fatos e possibilidades. Os desafios da educação no Brasil*. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 91-117.
- Steffen, H. H. (2009). *Robótica pedagógica na educação: um recurso de comunicação, regulação e cognição*. São Paulo, 2002, 113f (Doctoral dissertation, Dissertação. (Mestrado em Ciências da Comunicação) -Escola de Comunicação e Artes, Universidade de São Paulo, SP, 2002. Disponível em:< http://www.bibvirt.futuro.usp.br/textos/teses/helo_robotica.pdf>. Acesso em: 12 mar. 2016.
- Vianna, Y., Vianna, M., Medina, B., Tanaka, S. (2013). *Gamification, Inc.: como reinventar empresas a partir de jogos*. MJV Press: Rio de Janeiro.

Gamificação para o Ensino de Computação na Educação Básica

Michel Giroto Brum^{1,2}, Marcia E. J. Kniphoff da Cruz¹,

¹Departamento de Computação – Curso de Licenciatura em Computação –
Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC) – Santa Cruz do Sul – RS – Brasil

²Escola de Educação Básica Educar-se – Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC) –
Santa Cruz do sul – RS – Brasil

{michelgb, mcruz}@unisc.br

Resumo. *O ensino de Computação no Brasil vem sendo incentivado com atividades pontuais, mas necessita de fomento para sua consolidação. Para contribuir com essa proposta este relato de experiência apresenta resultados de atividades realizadas em disciplina facultativa de Robótica, em escola de educação básica. Considerando que a Robótica possibilita a introdução de conteúdos da Computação e que os estudantes são nativos digitais, empregou-se a gamificação que consiste em utilizar os princípios de game design à metodologia de ensino. Os resultados apresentaram melhora significativa no aprendizado do conteúdo trabalhado na disciplina e ampliação de habilidades sociais.*

Abstract. *The teaching of Computing in Brazil has been stimulated with specific activities, but it needs to be encouraged for its consolidation. In order to contribute to this proposal, this experience report presents results of activities carried out in an optional discipline of Robotics in a basic education school. Considering that Robotics allows the introduction of content of Computing and that the students are digital natives, the game was applied that consists of applying the principles of game design to the methodology of teaching. The results showed a significant improvement in the learning of the content worked in the discipline and expansion of social skills.*

1. Nativos Digitais e o cenário educacional

A difusão das Tecnologias Digitais – TDs, da rede global de computadores e a web, criaram uma singularidade no tempo. As TDs se tornaram onipresentes na vida das crianças e adolescentes. O intenso fluxo de informações transformou a forma como a nova geração pensa e processa informações. A partir destas constatações, Prensky (2001), denomina “Nativos Digitais”, aqueles que já nasceram em meio às TDs e reforça que possuem uma linguagem própria, e diferente dos “Imigrantes Digitais” que tiveram de se apropriar das TDs mais tarde.

Os Nativos Digitais nascem em meio aos computadores, celulares e a interatividade da web. São dinâmicos, ágeis, multitarefas. Conseguem jogar on-line em grupo, conversar, comunicar-se simultaneamente, navegar na internet e esse dinamismo passou a ser uma característica básica para o mundo de um nativo. Crescem em meio a um grande fluxo de informações, recebem e processam todas as diferentes informações

simultânea e paralelamente. Preferem o hipertexto (linguagem usada na web) ao texto linear. Os Imigrantes Digitais, por sua vez, preferem o meio analógico (como assistir uma telenovela) ao digital (como assistir conteúdo por streaming ou interativo), tem dificuldades em lidar com o ambiente virtual, preferindo meios físicos. Esta descontinuidade coloca de um lado Nativos e de outro Imigrantes. Para Prensky (2001), o único e maior problema que a educação enfrenta hoje é que os nossos professores Imigrantes Digitais, que usam uma linguagem ultrapassada (da era pré-digital), estão lutando para ensinar uma população que fala uma linguagem totalmente nova. Esta diferença entre as linguagens cria um afastamento entre Nativos e Imigrantes, afetando diretamente o processo educacional.

Prensky (2001) afirma que os alunos mudaram radicalmente, não são os mesmos para os quais o atual sistema educacional foi criado. O problema principal está no fato dos professores imigrantes usarem metodologias de ensino que funcionaram no passado. Em muitas situações desconsideram o ambiente em que os nativos vivem, repleto de conexões, velocidade e dinamismo.

O cenário educacional em alguns contextos, dentre os quais cita-se o Brasil, demoram muito a se modificar e a atingir patamares satisfatórios tanto no que diz respeito aos conteúdos tradicionais, quanto no ensino de novos conteúdos imprescindíveis de serem abordados na escola. Um conteúdo novo e necessário é a Computação que em países bem-sucedidos financeiramente e que apresentam elevados índices nos rankings internacionais de educação, tem inserido regularmente, o ensino de Computação na escola. Na Inglaterra e Austrália (Brenner, 2015) o ensino de Computação inicia aos cinco anos de idade, na França aos seis (Collas, 2016). Os Estados Unidos possuem diretrizes muito bem definidas para o currículo K12, sobre o ensino de Computação a partir da Educação Infantil. (CSTeacher, 2016). A Alemanha foca no ensino de computação e elaborou currículo específico da área para o Ensino Médio (Schmundt, 2013). Índia, Israel, Nova Zelândia, Coreia do Sul, entre outros países, já adotaram mudanças e desenvolveram currículos nacionais de TI.

2. O ensino de computação no Brasil

Experiências que envolvem o ensino de computação no Brasil têm ampliado, entretanto necessitam de expansão, regularidade e efetividade nos currículos escolares. Em comparação aos países citados, o Brasil está muito aquém do mínimo desejável quanto ao ensino de Computação na educação básica.

As dificuldades são observadas também, no ensino superior. Publicações científicas apontam que existem grandes dificuldades do ensino da programação nos cursos de ensino superior, conforme citado por Barbosa (2011) e Correia (2015). Esses estudos, ainda, apontam dados alarmantes sobre a evasão dos cursos de Computação; o assunto tem se tornado pauta de encontros nacionais, segundo Massa (2015). Os problemas referentes podem ser equalizados com a introdução de estudos de Ciência da Computação na Educação Básica, através do desenvolvimento do Pensamento Computacional, de lógica para programação e introdução a robótica nos currículos regulares das escolas. Outro aspecto a ser incentivado são os cursos de licenciatura em computação que formam professores para atuar na área.

Segundo Andrade et al (2013), o Pensamento Computacional se utiliza de atividades que introduzem os conceitos de coleta, análise e representação de dados,

decomposição de problemas, simulação, automação, algoritmos, paralelismo e abstração, sem o uso de computadores. Em Ciência da Computação essas habilidades são básicas para o desenvolvimento posterior de algoritmos e programação. Poucas escolas já estão incorporando o ensino de Computação nas suas rotinas diárias. A necessidade de oportunizar o desenvolvimento do Pensamento Computacional aos estudantes da Educação Básica está relacionada ao grau de complexidade dos problemas enfrentados no cotidiano. Ribeiro (2013), afirma que, noções matemáticas trabalhadas nas séries iniciais já foram conhecimentos apenas de intelectuais em séculos passados, contudo, hoje a programação de computadores está se tornando essencial.

Códigos de programação são partes integrantes de muitos dos recursos cotidianos, mas poucos tem o conhecimento para elaborá-los, o que justifica a necessidade emergente de repensar o currículo da Educação Básica do Brasil e atualizá-lo. É importante lembrar, segundo Ribeiro (2013), que o pensamento lógico-matemático difere do Pensamento Computacional; o raciocínio computacional utiliza a lógica como uma ferramenta no processo de resolução de problemas. Significa decompor os problemas em partes menores, para que possam ser resolvidos e combinados em função do resultado final, tornando o processo todo muito mais complexo que a simples tomada de decisão. Muitas escolas ainda consideram o ensino de informática apenas como a necessidade de dominar o uso de softwares e não como uma forma de desenvolver habilidades necessárias, cada vez mais cedo, na sociedade. Essa necessidade justifica a mobilização de incansáveis esforços para popularizar a Computação na Educação Básica.

Este trabalho defende a proposta de que a metodologia ao empregar a gamificação para ensino da Computação na Educação Básica, através da robótica, oportuniza benefícios significativos para o aprendizado. Portanto, são apresentados alguns dos elementos presentes em jogos que possuem potencial para serem explorados e incorporados à metodologia de ensino.

3. Gamificação, o design de games e a mecânica de jogo

A gamificação tem por princípios aplicar aspectos do design de games, ao processo de ensino aprendizagem, procurando reduzir as diferenças entre os nativos digitais e o sistema de ensino tradicional. Para isso, se faz necessário encontrar quais elementos da mecânica dos games são responsáveis por atrair, envolver e incentivar os jogadores. Uma pesquisa realizada pelo Grupo de Qualidade de Software (GQS) - Instituto Nacional para Convergência Digital (INCoD) - Departamento de Informática e Estatística (INE) - Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) buscou estatísticas com relação à preferência dos jogos por parte dos estudantes de computação, e mostrou que mais de 53% dos jogadores tem preferência por jogos de ação e aventura e *Role-Playing game* – RPG (Battistella, 2015). Outro dado relevante faz referência ao modo de interação entre os jogadores: embora o mais usado seja o *singleplayer* (41%), 40% dos alunos têm preferência pelo modo de interação multiplayer. Destes, 23% dos jogadores preferem modos multiplayers competitivos, os quais os jogadores competem entre si, e 17% multiplayers cooperativo, os quais os jogadores colaboram entre si.

Jogos multiplayer online como Conter-Strike são ícones de ambientes imersivos e estão associados à aprendizagem ativa de diversas habilidades. Uma pesquisa conduzida com 40 pessoas com idades superior ou igual a dezesseis anos mostrou que aqueles que jogaram ao menos oito horas por semana Conter Strike, apresentaram até duas vezes e

meia melhores habilidades multitarefas do que os demais. Para medir esta capacidade foi utilizado um software desenvolvido pelo exército norte-americano. A melhora foi atribuída ao ambiente imersivo e cenário realístico (MATTAR, 2010, p.118).

Os elementos que tornam os jogos digitais tão atrativos baseiam-se em dois pilares: o desafio e a recompensa. O desafio é representado pelas ações apresentadas durante o jogo. O jogo representa algo da realidade subjetiva. Jogos são objetivamente irreais e não recriam fisicamente as situações que representam, embora sejam subjetivamente reais para o jogador (Crawford, 1982). No ambiente imersivo do jogo Counter-Strike: Global Offensive (CS:GO) os jogadores escolhem um time: Terroristas (que tem por finalidade implantar a bomba em um ponto específico do mapa ou eliminar todos os contra terroristas) ou Contra Terroristas (que em por objetivo impedir que os terroristas implantem a bomba ou eliminar todos os terroristas). As regras e o objetivo do jogo são claros. Ao ingressar em um time ou “clã” formado por cinco componentes, os integrantes podem comunicar-se por voz durante o jogo. A comunicação é extremamente importante para que o time consiga discutir, planejar e executar ações em grupo rapidamente, pois a vitória depende, na maior parte, da habilidade de trabalho em equipe e organização do time, o que torna o jogo competitivo entre times, mas altamente colaborativo, dentro do time. Além disso, o tempo máximo de cada partida é de dois minutos, o que exige do time muita organização, agilidade e cooperação.

Já a recompensa é um resultado de seu empenho e evolução no jogo. Quanto mais praticar e melhorar seu desempenho maior será sua recompensa. A forma utilizada para representar o grau de expertise do jogador em um determinado game pode variar de jogo para jogo. Nos jogos de ação em primeira pessoa predomina o sistema de patentes, em que, conforme o usuário aprimora sua habilidade, ganha experiência (ou “*xp*”, na linguagem na dos jogos). Ao ingressar no CS:GO o jogador não possui patentes e somente após ganhar dez partidas competitivas receberá a primeira (de acordo com uma avaliação de habilidade do jogador durante os primeiros jogos, realizada pelo próprio software). São ao todo, dezesseis patentes, começando em “Prata I” e terminando em “Global Elite”, cedida somente aos jogadores mais habilidosos internacionalmente.

São estas capacidades intrínsecas de motivar a ação, resolver problemas e potencializar aprendizagens nas mais diversas áreas do conhecimento e da vida dos indivíduos (Fardo, 2013), encontrados no processo de desenvolvimento de games. Analisando a mecânica do jogo identificam-se cinco elementos com grande potencial de aplicação na educação que são: personificação, regras, objetivos, pontos e recompensas, detalhados na sequência.

4. Relatando a experiência: gamificação como metodologia na disciplina de robótica

As experiências relatadas foram realizadas com alunos do ensino superior. O relato do professor norte-americano Lee Sheldon (2012), na obra *Multiplayer Classroom: Designing Coursework as a Game*, explica como foi usada a lógica dos games ao lecionar em uma disciplina de Game Design (que tem por objetivo estudar como funciona a criação de games) em uma Instituição de Ensino Superior. Na educação básica é exemplo o trabalho desenvolvido por Hirano (2015), explica o uso de gamificação no ensino de Programação para Crianças, através de estudo comparando o desempenho de seis turmas com as quais empregou gamificação na metodologia e outra seis não. Com base nos

resultados foi possível constatar um aumento no engajamento dos alunos e conseqüentemente, melhora no desempenho acadêmico nas turmas que tiveram ensino gamificado. Outro efeito observado nestas turmas foi que o número de faltas às aulas foi reduzido.

As pesquisas apresentadas demonstram o emprego da gamificação no processo educacional de adultos e crianças para o ensino de diferentes áreas. Na seqüência relata-se a experiência da gamificação aplicada ao ensino da Computação, através da Robótica na Escola de Educação Básica Educar-se, escola de aplicação da Universidade de Santa Cruz do Sul - UNISC. O ensino de Computação, através da robótica na educação básica, pode ser visto como um grande avanço, contudo, tão importante quanto promover o ensino dessa área é empregar novas metodologias. Buscando uma forma de trabalho coerente com a linguagem dos Nativos Digitais, essa experiência foi desenvolvida na disciplina de Robótica, ministrada por professor licenciado em computação. A atividade envolveu quatro turmas. Três turmas eram compostas por alunos do terceiro ao quinto ano e uma turma com alunos do sexto ao oitavo ano, totalizando, trinta e três alunos. Os resultados foram constatados a partir da comparação entre os dois primeiros trimestres do ano de 2016, em que não foi utilizada gamificação na metodologia, com o terceiro trimestre, em que a gamificação foi empregada e denominada “Temporada de Jogos”.

Para as aulas de Robótica são utilizados kits de LEGO Mindstorms, modelo EV3, que permitem a programação com ferramenta visual. O uso de ferramentas visuais de programação reduz o gasto de tempo no aprendizado de uma nova linguagem, liberando mais tempo para resolução de problemas. Em um ambiente tradicional, os alunos recebem situações-problemas, o professor media a resolução e os alunos implementam e testam com o auxílio do robô. Ao final do processo o professor verifica a prática, fazendo as devidas considerações e observações. A metodologia utilizou a gamificação, retirando a figura do professor do centro do processo, oportunizando ao aluno ser membro ativo. Na prática, os elementos trazidos para o contexto escolar durante o processo de gamificação enfatizaram:

Personificação: Cada kit de robótica utilizado permite até quatro estudantes trabalhando juntos. O time é formado por um “engenheiro” (integrante responsável por montar a estrutura mecânica, motores, e finalizar a montagem do robô), um “eletrônico” (responsável por fazer a calibragem dos sensores, verificação das pilhas, baterias e barramentos), um “programador” (encarregado de programar o robô) e um “líder” (que representa o time na apresentação da tarefa, participa auxiliando e verificando o trabalho dos demais). Ao exemplo dos jogos *multiplayer*, cada aluno pode escolher o grupo e sua função nele, para desempenhar o cargo em que melhor se identifica. É importante lembrar que se deve usar a linguagem dos Nativos Digitais. Enquanto a palavra “grupo” ou “equipe” é normalmente usada para designar um conjunto de pessoas que se aplicam a uma tarefa ou trabalho, como no ensino tradicional, a palavra “time” é usada para designar um conjunto de indivíduos associados numa ação comum, com vista a determinado fim, um objetivo em comum, para o qual o trabalho de cada um converge. A figura 1 apresenta um time:







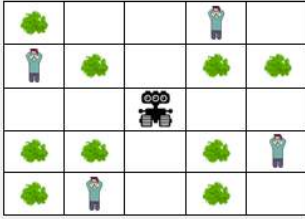
Figura 1. Composição de um time com os quatro integrantes/personagens

A atribuição de funções ou cargos aos integrantes do grupo soluciona um problema comum na disciplina de robótica: Como organizar para que quatro estudantes trabalhem simultaneamente com um único robô, sem deixar nenhum integrante sem atividade? Outro problema decorrente é como otimizar o tempo de trabalho, uma vez que, montar e programar robôs demandam de mais tempo do que há em uma aula. Com a divisão clara de tarefas, cada estudante assume um personagem em seu time e desempenha sua atribuição, permitindo paralelismo das atividades, otimizando o tempo disponível por atividade.

Regras: Seguindo a analogia dos jogos, regras que orientam a resolução das tarefas, pontuações e os critérios de avaliação devem estar bem definidos e claros para todos. São as regras que irão orientar a organização do trabalho de cada um no time. Toda nova tarefa dada é disponibilizada online em formato de texto, com o objetivo explicado claramente, os critérios de avaliação, bem como o valor em pontos de cada parte da tarefa. As tarefas no contexto do ensino da Computação são sempre objetivas e requerem a resolução de um problema e sua implementação com o auxílio do kit de robótica.

Objetivos: Assim como as regras, os objetivos devem estar claros e bem entendidos pelo time. O objetivo de cada tarefa é o foco para o qual todo o trabalho converge. Caso uma determinada tarefa seja muito ampla ou complexa, deve ser dividida em partes menores. Durante o período do ano em que o trabalho foi conduzido, o objetivo geral de cada time é somar o maior número de pontos. Os objetivos podem ser adaptados em função das habilidades que o professor espera que os alunos desenvolvam. No caso das turmas em questão, além de desenvolver o pensamento computacional, buscou-se desenvolver o trabalho em equipe, responsabilidade, autodesenvolvimento e organização. A figura 2 apresenta um exemplo de uma tarefa dada. Na tarefa o grupo precisou decompor o problema ao observar o padrão de repetição de movimentos para liberar as vítimas presas. Cada quadro da grade é representado por um espaço de 30 cm x 30 cm. Outro aspecto interessante é que tudo pode valer pontos, mas necessita estar descrito nas regras. Pode-se atribuir uma parcela da pontuação para atividades como colocar as baterias a carregar após a aula e guardar o material adequadamente, incentivando bons hábitos. Na figura 2 é possível verificar o formato de uma das tarefas dadas, que contempla essas situações:

	DESAFIO 2 – MÚLTIPLO RESGATE	Semana 2 – 07/10	
	Equipe: _____	Pontuação: _____	
	Integrantes: _____		

CENÁRIO DE RESGATE: Seu objetivo é liberar as 4 vítimas localizadas nos pontos indicados pelo mapa ao lado. Fique atento aos ícones:  O robô não pode passar neste quadrante.  Aqui seu robô de estar no início e no fim.  Vítima que você deve liberar.	
--	--

AÇÃO: É hora de montar e programar!	VALOR: Resolver a tarefa: 8 pontos; Organizar e guardar o material: 2 pontos;
---	--

Figura 2. Exemplo de tarefa entregue impressa para cada time

Pontuação: Após a realização de cada tarefa, o time recebe imediatamente a sua pontuação, e a mesma é lançada em uma planilha do Microsoft Office Excel, no OneDrive, incorporada à página web do professor. O uso de planilhas eletrônicas em nuvem permite a atualização dos dados em tempo real, garantindo o feedback instantâneo ao time. Ao visualizar a pontuação obtida logo após concluir a tarefa, o time pode analisar e discutir as falhas e refletir sobre mudanças necessárias (técnicas ou organizacionais). Assim como nos games online, a pontuação é incremental e permite quantificar o avanço do time. Este instrumento foi denominado “Robotômetro” e encontra-se incorporado à página web disponível em <http://robotica.kody.mobi>.

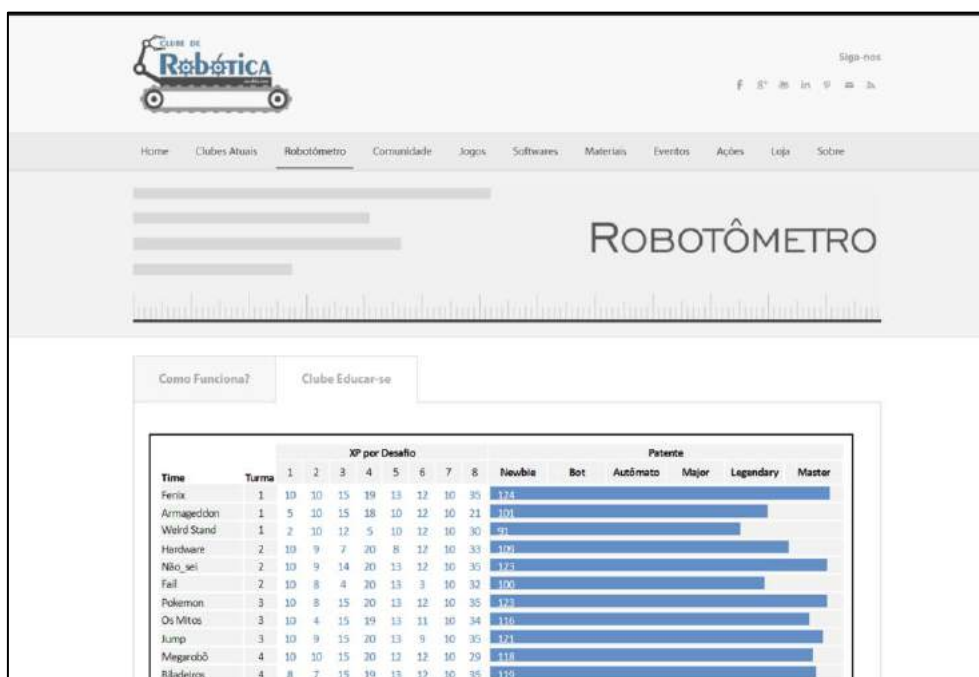


Figure 3. Tela da página do “robotômetro” no site do clube de robótica

Recompensa: O “robotômetro” mantém o registro incremental da pontuação de cada time, discriminada por tarefa. A pontuação individual de cada aluno é registrada na planilha, mas não é publicada, sendo visível somente ao professor. A soma das pontuações de cada aluno que integra um time acresce à pontuação do time. A partir desse momento a pontuação é disponibilizada na página web. O nível do time é indicado por seis patentes: *newbie*, *bot*, *autômato*, *major*, *legendary* e *master*. Essa denominação emprega termos inspirados na ficção científica, robótica e jogos *multiplayers*.

5. Os Resultados Alcançados

Através da experiência, foi possível observar e comparar o desempenho dos estudantes na disciplina de robótica. Durante a “Temporada de Jogos” os estudantes mantiveram-se mais engajados e unidos dentro dos times, mostraram mais dedicação e comprometimento. Com base na melhora significativa do rendimento das quatro turmas foi possível constatar que o feedback na forma como foi apresentado é um elemento com grande potencial para incentivar a busca ao aperfeiçoamento e revisão das tarefas. Vale ressaltar que neste estudo a lógica dos games foi aplicada na disciplina de robótica, mas pode ser adaptada para qualquer disciplina ou conteúdo, independentemente do nível de ensino, como nos relatos citados.

Para auxiliar na avaliação da metodologia, foi realizada uma pesquisa através de formulário web anônimo, com quatro questões sobre o período destas atividades, durante a “Temporada de Jogos”. Foi solicitado que considerassem apenas comparar este período de estudo com os meses anteriores da disciplina. O formulário foi preenchido integralmente por 21 estudantes, sendo estes, 7 das séries finais, e 14 entre o 3º e 5º ano das séries iniciais. Quando questionados, 76,2% acreditam que se dedicaram mais, e 57,1% procuraram revisar ou refazer suas tarefas antes de entregar, demonstrando um aumento significativo no interesse pelo estudo. Também 76,2% acreditam que aprenderam mais durante este período de tempo, do que nos meses anteriores. Outros 19% acreditam que o método não interferiu na aprendizagem e 4,5% consideram que não foi uma experiência positiva. Além da aprendizagem, os estudantes foram questionados sobre habilidades sociais como organização, trabalho em grupo, divisão de tarefas. Do total, 61,9% avaliaram ter melhorado a atuação no grupo. Nenhum estudante declarou ter sido prejudicado em termos de organização e trabalho em grupo durante a “Temporada de Jogos”.

Analisando as respostas por nível de ensino conclui-se que a gamificação afetou diferentemente cada nível. Enquanto 93% dos estudantes das séries iniciais dedicaram-se mais na resolução das tarefas, 57% dos alunos das séries finais acreditam que a metodologia não influenciou na sua dedicação. Por outro lado, 71% destes declararam revisar as tarefas antes de entregar, hábito que não possuíam, enquanto apenas 50% dos estudantes dos anos iniciais declararam o mesmo. Com relação à aprendizagem, 79% e 72% das séries iniciais e finais, respectivamente, concordam que aprenderam mais durante a gamificação da disciplina. Relativo ao trabalho em equipe, 64% e 57% dos alunos das séries iniciais e finais responderam que trabalharam melhor em conjunto durante a gamificação. A figura 4 apresenta as a quantificação das respostas dada ao questionário:

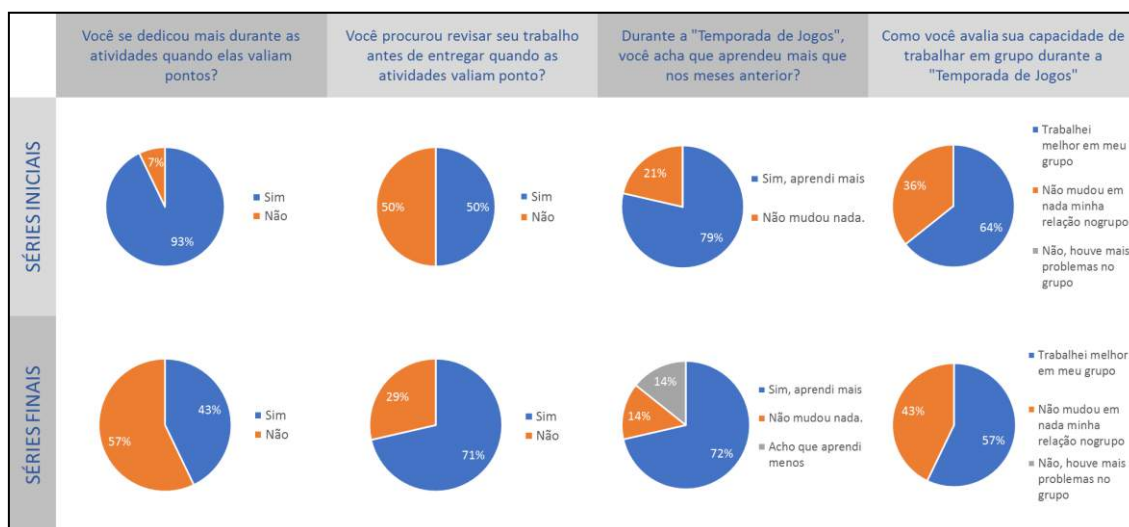


Figure 4. Gráfico com respostas da sondagem organizado por nível

6. Conclusão

Através da metodologia utilizada que valeu-se da gamificação no ensino de robótica foi possível constatar uma melhora significativa no desempenho das turmas. No que se refere à aprendizagem, incentivou a dedicação e a revisão das tarefas e a busca constante do conhecimento. A disciplina de robótica contribuiu efetivamente para a introdução de conteúdos da Computação. Promoveu também o engajamento entre os integrantes, a cooperação e o paralelismo das atividades. A proposta de utilização da gamificação para disciplina facultativa de robótica mostrou-se excelente junto à metodologia para o ensino de Computação e absolutamente coerente com a linguagem dos Nativos Digitais.

Referências

- BARBOSA, L. S., Fernandes, T. C., and Campos, A. M. (2011). Takkou: Uma ferramenta proposta ao ensino de algoritmos. In Anais do CSBC/XIX WEI.
- BATTISTELLA, Paulo. Wangenheim, C. G. V. (2016). Caracterização do Público-Alvo de Jogos Educacionais na área da Computação. In Anais do CSBC/XXIV WEI.
- BRENNER, Wagner. Austrália classifica geografia e história como facultativas e acrescenta aulas de programação. Updateordie. Disponível em: <http://www.updateordie.com/2015/09/22/australia-tirageografia-e-historia-das-escolas-em-favor-de-aulas-de-programacao>. Acesso em Junho de 2015.
- COLLAS, Aurélie. L'école se prépare à enseigner le code informatique. LEMONDE, julho de 2016. Disponível em: http://www.lemonde.fr/education/article/2016/06/06/l-ecole-se-prepare-a-enseigner-lecode-informatique_4938182_1473685.html. Acesso em Julho de 2016.
- CORREIA, A. L. et. al. (2015). Uso de avaliação por pares em disciplinas introdutórias de programação. In Anais do CSBC/XXIII WEI.

- CSTeachers. **Csta k-12 computer science standards**. Disponível em: <https://www.csteachers.org>. Acesso em julho de 2016. CRAWFORD, Cris. The Art of Computer Game Design. Versão eletrônica autorizada para acesso público da obra publicada em 1982. Disponível em http://www-rohan.sdsu.edu/~stewart/cs583/ACGD_ArtComputerGameDesign_ChrisCrawford_1982.pdf. Acesso em 08 de março de 2017.
- FARDO, Marcelo Luiz. A Gamificação Como Estratégia Pedagógica: Estudo De Elementos Dos Games Aplicados Em Processos De Ensino E Aprendizagem, 2013.
- HIRANO, Fabio Takashi. O Uso de Gamification no ensino de Programação para Crianças: um estudo de caso. 2015. Disponível em: <https://linux.ime.usp.br/~fabioh/mac499/monografia.pdf>. Acesso em 7 de março de 2017
- MATTAR, João. Games em educação: como os nativos digitais aprendem. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010. 181 p.
- MASSA, S. Monica. (2015). A formação didático-pedagógica do docente da área de computação: um estudo de caso em uma Universidade Brasileira. In: Anais do XXIII WEI. SBC.
- RIBEIRO, Leila. (2013) Painel sobre "O Pensamento Computacional no Ensino Fundamental e Médio" realizado em outubro de 2013 no II Workshop-Escola de Informática Teórica (WEIT). Instituto de Informática / UFRGS
- SHELDON, Lee. The Multiplayer Classroom: Designing Coursework as a Game. Boston, MA: Cengage Learning, 2012
- SCHMUNDT, Hilmar. Reading, writing, algorithms should it classes be required?, Spiegel online, 2013. Disponível em: <http://www.spiegel.de/international/germany/experts-in-germany-divided-oncomputer-science-in-school-curriculum-a-899979.html>. Acesso em junho de 2016.

Pensar para Programar: Projeto de Ensino no Curso Técnico em Informática

Wagner dos Santos Marques, Paulo Silas Severo de Souza,
Jaline Gonçalves Mombach

¹Instituto Federal Farroupilha (IF Farroupilha)
Campus Alegrete – RS – Brasil

{wagner.marques, paulo.souza}@email.com,

jaline.mombach@iffarroupilha.edu.br

Abstract. *This paper presents a report of the experiences obtained during a teaching project developed with first-year students of an Informatic Technician course. It was used concepts of Unplugged Computing and Problem-Based Learning in order to instigate the development of skills related to the Computational Thinking on the students. The results showed that such methodology was successful, contributing to the development of student's cognitive skills, such as critical thinking and problem-solving.*

Resumo. *Este artigo apresenta um relato das experiências obtidas durante um projeto de ensino realizado com alunos do primeiro ano de um curso de Técnico em Informática. Foram usados conceitos de computação desplugada e aprendizagem baseada em problemas para instigar o desenvolvimento de habilidades relacionadas ao pensamento computacional nos alunos. Os resultados mostraram que tal metodologia foi bem-sucedida, contribuindo para o desenvolvimento de habilidades cognitivas dos alunos, como pensamento crítico e resolução de problemas.*

1. Introdução

Um dos principais problemas enfrentados pelas instituições de ensino superior e técnico é a alta evasão dos alunos em cursos da área de Ciência da Computação. Em 2014, surgiram cerca de 78 mil novas vagas no setor de TI (Tecnologia da Informação), e destas, apenas 33 mil foram preenchidas, o que ilustra a carência de profissionais nesta área, causada por problemas como a evasão escolar (GALDINO; NETO; COSTA, 2015).

A evasão escolar em cursos de computação pode ocorrer por diversos motivos, entre eles o fato de muitos alunos apresentarem dificuldades em disciplinas que exigem raciocínio lógico, como algoritmos e programação. Além disso, professores possuem dificuldades ao apresentar atividades que exercitam o raciocínio lógico, pois nem sempre dispõem de material didático apropriado para este fim (GALDINO; NETO; COSTA, 2015).

Nesse sentido, vários estudos propõem práticas e ferramentas que estimulam o desenvolvimento de habilidades como o raciocínio lógico dos estudantes. Dentre os temas abordados, destaca-se o pensamento computacional, que pode ser entendido como

a aplicação de conceitos de Ciência da Computação e de ferramentas cognitivas¹ na resolução de problemas (WING, 2006). O objetivo de incluir atividades que desenvolvem o pensamento computacional nos alunos é proporcionar uma aprendizagem mais efetiva em disciplinas relacionadas à computação (FRANÇA; AMARAL, 2012).

Assim, com o intuito de diminuir a evasão e facilitar o aprendizado dos alunos do curso técnico em Informática do Instituto Farroupilha Campus Alegrete, foi desenvolvido o projeto “Pensar para Programar”, que tem como objetivo trabalhar o pensamento computacional dos alunos por meio de ferramentas e materiais didáticos destinados ao exercício de lógica. Assim, este trabalho apresenta um relato das experiências obtidas durante o desenvolvimento deste projeto de ensino, visando orientar e incentivar ações semelhantes em outras instituições.

O restante deste artigo está organizado como segue. Na Seção 2 são apresentados trabalhos relacionados ao projeto desenvolvido; na Seção 3 discorre-se sobre o referencial teórico utilizado. A Seção 4 é reservada ao relato das experiências obtidas no decorrer do projeto, e na Seção 5 são feitas as considerações finais.

2. Trabalhos Relacionados

Vários estudos apresentam as vantagens do incentivo ao pensamento computacional. Oliveira e Araujo (2016) investigaram as habilidades relacionadas ao pensamento computacional que podem ser desenvolvidas por meio de atividades de robótica. Após a realização de uma revisão da literatura, os autores realizaram uma oficina de robótica a fim de explorar tais habilidades. Como avaliação da proposta, foram realizados testes e questionários. Os resultados foram positivos, mostrando que após a oficina os alunos foram capazes de resolver problemas de forma mais eficaz.

Souza, Rodrigues e Andrade (2016) promoveram um curso de robótica para turmas do ensino médio. O intuito era diminuir a deficiência na formação docente e discente em competências do pensamento computacional. A proposta foi avaliada quantitativamente por meio da avaliação do desempenho de 729 alunos. Os autores apontam que o desempenho dos alunos foi significativamente aprimorado após sua participação no curso. Além disso, os autores enfatizam que a inserção do pensamento computacional melhorou o desempenho dos alunos nas oficinas de robótica tradicionalmente ofertadas.

Rodrigues et al. (2015) empreenderam um estudo quantitativo para analisar o impacto do pensamento computacional no desempenho de estudantes da educação básica. O projeto envolveu 103 estudantes do Estado da Paraíba, divididos em dois grupos de amostra, sendo que um dos grupos já tinha experiência em programação. Os resultados obtidos indicaram que a prática de programação pode aprimorar e influenciar no desempenho de alunos em diferentes contextos através do pensamento computacional.

Pinho et al. (2016) descrevem os resultados da aplicação da ferramenta “Caça ao Tesouro”, que aborda conceitos de busca de dados desenvolvidos no âmbito do pensamento computacional. Foi proposto um jogo digital como ferramenta para a execução das tarefas. Após a avaliação da proposta, os resultados da abordagem utilizada foram comparados aos resultados obtidos através de uma aplicação do método clássico. Os dados

¹Ferramentas cognitivas são elementos tecnológicos que podem ser usados para instigar o pensamento crítico dos alunos acerca do que estes estão estudando. (JONASSEN; CARR; YUEH, 1998).

preliminares indicam que a abordagem é satisfatória.

Falcão e Barbosa (2015) apontam a falta de métodos para realização de avaliações de qualidade de jogos digitais que envolvem a lógica de programação e que visam o desenvolvimento do pensamento computacional. Nesse sentido, através do estudo de caso, os autores apresentam uma análise dos aspectos pedagógicos e técnicos que podem ser usados no processo de interação de crianças com jogos desenvolvidos para tal propósito. Ao final de seu estudo, os autores enfatizam que os aspectos analisados possuem potencial para se tornarem parâmetros de um método de avaliação formal.

Zanetti, Borges e Ricarte (2016) realizaram uma revisão sistemática da literatura dos trabalhos relacionados ao pensamento computacional. Foram analisados 16 artigos a fim de apresentar uma visão da área de pesquisa e definir quais as linhas de atuação dos pesquisadores no Brasil. Os resultados indicam que as práticas mais abordadas por estudos que visam disseminar o pensamento computacional são as Linguagens de programação visual, computação desplugada e jogos digitais.

O diferencial deste trabalho em relação aos demais contidos na literatura é o relato de experiência e os resultados obtidos após a adoção de jogos de tabuleiro e de lógica matemática com o intuito de melhorar o pensamento computacional dos estudantes e dessa forma facilitar o aprendizado destes nas disciplinas de programação nos cursos de computação.

3. Referencial Teórico

Nesta Seção são descritos os principais conceitos e características da metodologia de ensino adotada.

3.1. Pensamento Computacional e Resolução de Problemas

A metodologia baseada no pensamento computacional usa conceitos de Ciência da Computação para aprimorar as habilidades criativas e de resolução de problemas dos alunos. A aplicação de atividades que exploram o pensamento computacional facilita a comunicação entre alunos e professores, permitindo que ambos falem a mesma linguagem durante a discussão de problemas e a análise de possíveis soluções (FURBER et al., 2012).

O trabalho em equipe é incentivado em práticas que envolvem o pensamento computacional, pois permite que os alunos discutam durante a resolução dos problemas, aprimorando habilidades como reflexão e pensamento crítico. Neste sentido, percebe-se que abordagens como a aprendizagem baseada em problemas, que estimulam o trabalho em equipe, podem ser usadas para estimular o desenvolvimento do pensamento computacional.

A aprendizagem baseada em problemas (ABP) é uma metodologia educacional desenvolvida na *McMaster University's Faculty of Health Sciences* que usa a resolução colaborativa de problemas para aumentar a eficácia do processo de aprendizagem. Nesta metodologia, o professor apresenta um problema prático, e os discentes reúnem-se em grupos de estudo para tentar resolvê-lo. A ABP é considerada uma metodologia centrada nos alunos, pois estes devem assumir a responsabilidade por seu próprio aprendizado, levantando hipóteses de forma colaborativa e identificando quais conteúdos são necessários

para solucionar o problema. Após completarem o desafio, a ABP sugere que todos alunos se reúnam com seus professores, para discutir sobre as experiências obtidas (BARROWS, 1996).

3.2. Computação Desplugada

A computação desplugada é uma técnica que consiste em ensinar os fundamentos da computação através de atividades lúdicas que não fazem uso de um computador, favorecendo um ambiente sem distrações e detalhes técnicos em demasia. Tal técnica é composta por diversas atividades e pode ser aplicada à pessoas de diferentes idades, com diversos níveis de escolaridade e com diferentes conhecimentos e experiências (VIEIRA; PASSOS; BARRETO, 2013).

Além disso, é possível a realização destas práticas pedagógicas em diferentes estruturas escolares de forma simples e interativa, pois tal metodologia não necessita de componentes de *hardware*, nem de *softwares* para ser aplicada (COSTA et al., 2012).

3.3. Práticas Colaborativas

As práticas colaborativas permitem que problemas propostos possam ser resolvidos de maneira colaborativa, onde os educandos podem dividir as tarefas e analisar quais as soluções mais eficazes para realizá-los. Ressalta-se ainda que esta abordagem é benéfica aos alunos, pois torna possível a troca de experiências e o desenvolvimento de habilidades sociais e trabalho em equipe (RAMOS, 2011).

Além disso, o trabalho colaborativo permite que os alunos complementem seus conhecimentos e tornem-se mais criativos através da troca de conhecimentos e ideias. Também, a tecnologia destaca-se por ampliar práticas colaborativas através de computadores (GEROSA; FUKS; LUCENA, 2003).

4. Relato de Experiência

Esta seção descreve detalhadamente as atividades realizadas durante o projeto, explicando o contexto no qual as atividades foram aplicadas, o perfil dos alunos, e também as experiências obtidas.

4.1. Contexto e Metodologia

O projeto “Pensar para Programar” foi realizado no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha (IFFarroupilha) – Campus Alegrete, com aproximadamente 27 alunos pertencentes à turma do primeiro ano do curso técnico em Informática integrado ao ensino médio. A equipe executora constituiu-se de uma professora coordenadora e de dois acadêmicos do curso de Análise e Desenvolvimento de Sistemas.

O projeto foi realizado entre os meses de agosto e dezembro de 2016, em encontros semanais com duração de duas horas. Cada encontro foi dividido em duas etapas de uma hora. Na primeira etapa, eram aplicados jogos de lógica e de incentivo ao pensamento computacional. Em seguida, na segunda etapa do encontro, realizavam-se exercícios de algoritmos relacionados ao conteúdo ministrado na disciplina de “Programação I”. A fim de auxiliar a primeira parte do encontro, utilizaram-se algumas ferramentas e materiais:

- Lobogames²: projeto mantido pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), que promove o uso de jogos lógicos de tabuleiro para facilitar o desenvolvimento do raciocínio lógico. O projeto disponibiliza diversos modelos de tabuleiros para impressão e uso livre em atividades de ensino.
- Blockly³: sistema criado pela Google destinado ao ensino de programação. Tal ferramenta oferece diversas atividades educativas e permite a programação em blocos que representam comandos, ideal para entendimento inicial da lógica de programação.
- Jogos *Boole*⁴: revistas com diferentes níveis de desafios de raciocínio lógico por meio de histórias baseadas em estruturas lógico-matemáticas, em forma de enigmas e problemas. Todas as histórias são resolvidas com um jogo de cartas disponibilizadas junto aos livros.
- Problemas de Lógica: histórias similares ao “Teste de Einstein”, desafio lógico popular em formato de tabela, disponibilizadas no portal Racha Cuca⁵, além de modelos de quebra-cabeça em madeira.

Além disso, os monitores do projeto acompanharam as aulas de “Programação I”, ministradas pela coordenadora do projeto, com o intuito de acompanhar os alunos e auxiliar a docente no processo de ensino da disciplina.

4.2. Aula Experimental

Foi realizada uma aula experimental junto à disciplina de “Programação I”, ministrada pela coordenadora do projeto, a fim de verificar se as ações planejadas seriam aceitas e despertariam o interesse dos alunos. Neste encontro, foi adotado o projeto Lobogames em duas modalidades: Tabuleiro e Jogo Vivo. Na modalidade tabuleiro, o jogo é apresentado em sua forma tradicional, com um tabuleiro sobre a mesa e apenas dois jogadores (Figura 1(a)). Já no Jogo Vivo (Figura 1(b)), os jogadores tornam-se as peças do tabuleiro. Esta modalidade é centrada no desenvolvimento do trabalho em equipe dos alunos.



(a) Tabuleiro



(b) Jogo Vivo

Figura 1. Registro da realização da aula experimental.

Os alunos mostraram entusiasmo e curiosidade em relação ao material elaborado. Ao final do encontro, os educandos foram reunidos e questionados a respeito do interesse

²Lobogames. Disponível em: <<http://www.inf.ufrgs.br/lobogames>>.

³Blockly. Disponível em: <<https://developers.google.com/blockly>>.

⁴Jogos Boole. Disponível em: <<http://www.jogosboole.com.br>>.

⁵Racha Cuca. Disponível em: <<https://rachacuca.com.br/logica/problemas>>.

em participar do projeto, momento em que expressaram aceitação à metodologia proposta e interesse em participar do projeto. Nesse sentido, a abordagem planejada mostrou-se satisfatória.

4.3. Encontros

Inicialmente, o projeto seria ofertado apenas para os alunos que haviam obtido notas abaixo da média no primeiro semestre do corrente ano. Todavia, no primeiro encontro após a aula experimental, os demais alunos com notas acima da média solicitaram a participação no projeto junto aos demais colegas, o que foi permitido.

Nos primeiros encontros, os discentes eram instruídos a realizar desafios de lógica propostos. Inicialmente alguns alunos destacaram-se dos demais, apresentando maior facilidade de resolução de problemas lógico-matemáticos. Além disso, notou-se colaboração entre os envolvidos durante os encontros, e uma melhora significativa no pensamento computacional dos estudantes.

A cada encontro, a equipe executora do projeto adotava uma das ferramentas citadas anteriormente, aumentando o nível de dificuldade ao longo das aulas. Nesse sentido, os encontros não se tornaram repetitivos, evitando que os alunos perdessem o interesse por tais atividades.

Ao decorrer das atividades, foram identificados os alunos que apresentavam maiores dificuldades e que necessitavam de atenção singular. Nesse sentido, os executores passaram a adaptar as atividades para estes discentes a fim de auxiliá-los no processo de aprendizagem, como por exemplo, um aluno com déficit de atenção que apresentava dificuldades na realização de exercícios de programação em sala de aula mas desempenho acima da média nos jogos de lógica do projeto.

4.4. Feira de Ciências

A fim de selecionar alguns alunos para apresentar o projeto junto à Feira de Ciências, evento promovido pelo IFFarroupilha na comunidade alegretense, realizou-se uma competição de desafios lógicos. Dois educandos teriam a oportunidade de apresentar o projeto à comunidade local durante o referido evento. Logo, os estudantes foram divididos em duplas e um desafio dos jogos *Boole* foi proposto, e a equipe que resolvesse o problema de lógica primeiro e de forma correta, venceria.

Após o fim do encontro, os desafios foram corrigidos e o ranqueamento das duplas foi realizado. Em seguida, as três duplas com melhor colocação foram questionadas sobre o interesse de participar da Feira, momento em que todos esboçaram interesse em representar os colegas em tal evento. Nesse sentido, os seis alunos foram autorizados a realizar a apresentação com o auxílio dos monitores do projeto. A Figura 2 registra a participação dos alunos na Feira.

O material dos projetos Lobogames e Jogos *Boole* foram levados ao evento. Os alunos selecionados demonstraram domínio do material, ao passo que instruíram discentes de outras instituições e comunidade em geral a realizar os desafios e os jogos de tabuleiro.

Ficou evidenciado o progresso de alunos que tinham dificuldade de raciocínio lógico, visto que estes mostraram proficiência ao auxiliar os demais participantes da feira durante a realização dos desafios elaborados.



Figura 2. Participação dos alunos na Feira de Ciências

4.5. Competição de Algoritmos

Ainda com o objetivo de incentivar o trabalho em equipe e o pensamento computacional, foi promovida uma competição entre os os alunos. Foram desenvolvidos problemas com pontuações diversas de acordo com sua complexidade, que deveriam ser solucionados através de algoritmos. Os alunos foram encaminhados para um ambiente externo ao da sala de aula e poderiam resolver os problemas com auxílio de editores instalados em seus próprios *smartphones*. Cada equipe podia sortear um problema para resolução e só ganhava novo desafio ao mostrar que o algoritmo desenvolvido solucionava o problema. No quadro 1 são descritos dois problemas, exemplificando a dinâmica.

PONTUAÇÃO: 20 PONTOS

Wagner cansou de ser bolsista na monitoria e resolveu tentar a sorte na Mega-Sena. Cada jogo é composto por seis números, de 1 a 60. Se o jogador escolher “Surpresinha”, o sistema gera os números automaticamente. Por isso, faça um algoritmo que gere dois jogos “surpresinha” para o Wagner. Use estruturas de repetição.

PONTUAÇÃO: 25 PONTOS

No pomar de Dona Mariquinha tem um pé de laranjeira e um pé de bergamoteira. Consideramos que hipoteticamente, a bergamoteira cresce 20 cm por ano e a laranjeira 30cm por ano, faça um algoritmo que determine quantos anos demorará para que a laranjeira seja maior que a bergamoteira. Atualmente a bergamoteira tem 100 cm e a laranjeira tem 80 cm.

Quadro 1: Exemplo de problemas elaborados para a competição.

Os discentes foram divididos em equipes de cinco integrantes e a equipe com maior pontuação ao final da atividade ou que resolvessem todos os problemas primeiro, ganharia a competição e receberia uma premiação. Ao final, após a contagem dos pontos, definiu-se a equipe ganhadora. Surpreendentemente, a equipe vencedora era constituída por alunos que não haviam alcançado média na disciplina de “Programação I” no semestre

anterior, o que mostrou o progresso dos educandos e a contribuição do projeto no processo de aprendizado dos participantes.

5. Considerações Finais

Este trabalho relata as experiências obtidas através do projeto “Pensar para Programar”, que teve como objetivo reduzir a evasão e melhorar o aproveitamento na disciplina Programação I do curso Técnico em Informática no Instituto Federal Farroupilha - Campus Alegrete. O projeto foi constituído de atividades provenientes da computação desplugada e da aprendizagem baseada em problemas, a fim de melhorar o pensamento computacional dos alunos participantes.

No decorrer do projeto, foi possível perceber o desenvolvimento dos alunos em relação à habilidade de resolução de problemas. Além disso, alguns discentes que tinham dificuldades na disciplina de programação destacaram-se durante as atividades do projeto. Também percebeu-se uma grande colaboração entre os educandos, o que evidenciou o aumento da habilidade de trabalho em equipe dos participantes gerado pela metodologia adotada.

No entanto, a partir da décima semana o horário das disciplinas precisou ser alterado e o projeto, que ocorria em períodos disponíveis entre aulas regulares no turno da manhã, passou a ocorrer no turno da tarde, inverso ao das aulas. Percebeu-se a diminuição de participantes, visto que alguns já estavam comprometidos em horas de recuperação paralela com outras disciplinas e outros não ficavam na instituição. Todavia, dos alunos ativos, a maioria mostrou-se beneficiada pela metodologia adotada.

A docente da disciplina avaliou o projeto de forma positiva, visto que alguns alunos de fato tiveram melhor rendimento em aula e ao final do ano letivo apenas dois alunos desistiram do curso, mas mesmo assim, não saíram da instituição, apenas ingressaram em outro curso técnico. Destaca-se o caso do aluno com déficit de atenção, pois este apresentava baixa autoestima e dificuldade de entrosamento com os demais colegas, provavelmente pela dificuldade de realização dos exercícios em aula. Porém, conforme avaliação da docente, este aluno demonstrou maior segurança e notou-se progresso principalmente na comunicação com os colegas, visto que ele apresentava facilidade na interação com jogos de tabuleiro e em alguns desafios lógicos.

Quanto à equipe executora, a experiência foi considerada enriquecedora. Como trabalhos futuros, almeja-se a continuidade do projeto com novas turmas contendo práticas pedagógicas relacionadas à computação desplugada.

Referências

- BARROWS, H. S. Problem-based learning in medicine and beyond: A brief overview. *New directions for teaching and learning*, Wiley Online Library, v. 1996, n. 68, p. 3–12, 1996.
- COSTA, T. et al. Trabalhando fundamentos de computação no nível fundamental: experiência de licenciandos em computação da universidade federal da paraíba. In: *XX Workshop de Educação em Computação-WEI. Curitiba, PR, Brasil*. [S.l.: s.n.], 2012.
- FALCÃO, T. P.; BARBOSA, R. ”aperta o play!” análise da interação exploratória em um jogo baseado em pensamento computacional. In: *Brazilian Symposium on Computers in*

Education (Simpósio Brasileiro de Informática na Educação-SBIE). [S.l.: s.n.], 2015. v. 26, n. 1, p. 419.

FRANÇA, R.; AMARAL, H. Proposta de um jogo eletrônico educativo aplicado ao ensino da lógica de programação. In: *CONFERÊNCIA LATINOAMERICANA DE OBJETOS E TECNOLOGIAS DE APRENDIZAGEM*. [S.l.: s.n.], 2012. v. 7.

FURBER, S. et al. Shut down or restart? the way forward for computing in uk schools. *The Royal Society, London*, 2012.

GALDINO, C.; NETO, S.; COSTA, E. Kidcoder: Uma proposta de ensino de programação de forma lúdica. In: *Brazilian Symposium on Computers in Education (Simpósio Brasileiro de Informática na Educação-SBIE)*. [S.l.: s.n.], 2015. v. 26, n. 1, p. 687.

GEROSA, M. A.; FUKS, H.; LUCENA, C. J. P. de. Suporte à percepção em ambientes de aprendizagem colaborativa. *Brazilian Journal of Computers in Education*, v. 11, n. 2, p. 75–85, 2003.

JONASSEN, D. H.; CARR, C.; YUEH, H.-P. Computers as mindtools for engaging learners in critical thinking. *TechTrends*, Springer, v. 43, n. 2, p. 24–32, 1998.

OLIVEIRA, E.; ARAUJO, A. L. Pensamento computacional e robótica: Um estudo sobre habilidades desenvolvidas em oficinas de robótica educacional. In: *Brazilian Symposium on Computers in Education (Simpósio Brasileiro de Informática na Educação-SBIE)*. [S.l.: s.n.], 2016. v. 27, n. 1, p. 530.

PINHO, G. et al. Proposta de jogo digital para dispositivos móveis: Desenvolvendo habilidades do pensamento computacional. In: *Brazilian Symposium on Computers in Education (Simpósio Brasileiro de Informática na Educação-SBIE)*. [S.l.: s.n.], 2016. v. 27, n. 1, p. 100.

RAMOS, D. K. Processos colaborativos mediados pelo computador e as contribuições da teoria da atividade. *Brazilian Journal of Computers in Education*, v. 18, n. 03, p. 34, 2011.

RODRIGUES, R. da S. et al. Análise dos efeitos do pensamento computacional nas habilidades de estudantes no ensino básico: um estudo sob a perspectiva da programação de computadores. In: *Brazilian Symposium on Computers in Education (Simpósio Brasileiro de Informática na Educação-SBIE)*. [S.l.: s.n.], 2015. v. 26, n. 1, p. 121.

SOUZA, I. M. L. de; RODRIGUES, R. da S.; ANDRADE, W. Explorando robótica com pensamento computacional no ensino médio: Um estudo sobre seus efeitos na educação. In: *Brazilian Symposium on Computers in Education (Simpósio Brasileiro de Informática na Educação-SBIE)*. [S.l.: s.n.], 2016. v. 27, n. 1, p. 490.

VIEIRA, A.; PASSOS, O.; BARRETO, R. Um relato de experiência do uso da técnica computação desplugada. *Anais do XXI WEI*, p. 670–679, 2013.

WING, J. M. Computational thinking. *Communications of the ACM*, v. 49, n. 3, p. 33–35, 2006.

ZANETTI, H.; BORGES, M.; RICARTE, I. Pensamento computacional no ensino de programação: Uma revisão sistemática da literatura brasileira. In: *Brazilian Symposium*

on Computers in Education (Simpósio Brasileiro de Informática na Educação-SBIE).
[S.l.: s.n.], 2016. v. 27, n. 1, p. 21.

A percepção dos professores sobre a prática da interdisciplinaridade no ensino de computação para escolares

Euma Silva Santos, William Fabian Machado Vera, Ecivaldo de Souza Matos

Departamento de Ciência da Computação - Universidade Federal da Bahia (UFBA)
Avenida Ademar de Barros, s/n - CEP 40170-110 - Salvador - BA - Brasil

{eumasantos, williamfabianmv}@gmail.com, ecivaldo@ufba.br

***Abstract.** This paper presents partial results of a research on perception of interdisciplinarity in computing education by teachers of basic education. For that, a case study was carried out in two public schools with use of Unplugged Computer Science in an interdisciplinary way. The case study was composed of intervention with observation, and teacher's interviews, whose data were analyzed through the method of content analysis. In this analysis It was looking for fundamental categories of interdisciplinarity in teachers' discourses and actions: integration; interaction and reciprocity; and approximation of reality.*

***Resumo.** Este artigo tem como objetivo apresentar resultados parciais de uma pesquisa sobre a percepção de interdisciplinaridade nas ações de ensino de computação por professores da educação básica. Para tanto, foi realizado um estudo de caso em duas escolas públicas com uso da Computação Desplugada de modo interdisciplinar. O estudo de caso foi composto de intervenção com observação, e entrevistas com os professores, cujos dados foram analisados por meio do método de análise de conteúdo, com o intuito de identificar categorias fundamentais de interdisciplinaridade nos discursos e ações desses professores: integração; interação e reciprocidade; e aproximação da realidade.*

1. Introdução

Embora ainda não regulamentado enquanto conteúdo obrigatório nas escolas, o ensino de computação na educação básica (ensinos fundamental e médio) tem importância reconhecida e não é novidade para a comunidade acadêmica de computação. Esse fato fica evidente ao passo que diversas ações têm sido desenvolvidas em vários lugares, dentro e fora do país, com o objetivo de apresentar e apoiar os estudantes no desenvolvimento de competências e habilidades na área de ciência da computação (CC).

Em busca de linguagens mais acessíveis e formas mais lúdicas de realizar ações que envolvam os estudantes da educação básico com os assuntos de computação, muitas vezes são aplicadas ferramentas, técnicas e/ou metodologias para mediar o processo e permitir maior aproximação entre os alunos da educação básica e os assuntos de computação. Uma dessa metodologias é a Computação Desplugada Interdisciplinar (CDI), que propõe ensinar conceitos de computação integrados aos conteúdos curriculares sem utilização de computadores (Paiva, 2015a).

Um fator importante nas atividades do CDI é a independência do uso de *hardwares* e *softwares* para aplicação das atividades, facilitando que as intervenções pedagógicas possam ser realizadas em qualquer lugar e ambiente, seja ele escolar ou

não conforme sua concepção original¹.

A falta de equipamentos em muitas escolas, principalmente nas unidades da rede pública, inibe que a sua gestão proponha o ensino com uso de computadores. Como a CDI independe desses recursos esse ensino se faz possível. Isso implica também em uma forma coerente de dissociar que o ensino de computação está diretamente ligado a uso de máquinas e outras tecnologias

O Projeto CDI tem também como um dos objetivos estimular o pensamento/raciocínio computacional utilizando-se de atividades onde é possível trabalhar conteúdos de computação em conjunto com outras disciplinas curriculares.

Segundo Paiva (2015b), a Computação Desplugada é uma alternativa para a execução de atividades que estimulem o pensamento/raciocínio computacional. Isso implica dizer que a construção de conhecimento no campo da Computação deve preceder o uso das máquinas, uma vez que a Computação, assim como a Matemática, é uma ciência abstrata e fundamentalmente semiótica, cuja principal função é processar signos.

Outra recurso utilizado no ensino de computação na educação básica com o projeto CDI é a interdisciplinaridade, visto que o CDI se utiliza da relação entre as diversas disciplinas escolares e a computação para, principalmente, facilitar a compreensão de ambas, despertar o raciocínio computacional e estimular novos métodos de aprendizagem.

Fazenda (2008) afirma que “na interdisciplinaridade escolar as noções, finalidades habilidades e técnicas visam favorecer, sobretudo, o processo de aprendizagem respeitando os saberes dos alunos e sua integração” (p. 21). Segundo Ribeiro (2005), a interdisciplinaridade implica em um diálogo entre duas ou mais disciplinas para que haja compartilhamento de conhecimento e enriquecimento de ambos. Dessa forma não é apenas “juntar”, mas compartilhar conhecimentos.

A interdisciplinaridade no ensino e no aprendizado tem contribuído para a construção do saber na sociedade contemporânea e a escola como um lugar de aprendizagem e produção de conhecimento precisa acompanhar e se apropriar dessas ferramentas (Fazenda, 2008).

Partindo desses pressupostos podemos afirmar que o projeto propõe despertar nos alunos uma forma de resolver problemas usando o pensamento/raciocínio computacional por meio de práticas interdisciplinares. Nesse sentido, este artigo tem como objetivo apresentar resultados parciais de uma pesquisa sobre as concepções de interdisciplinaridade nas ações de ensino de computação por professores da educação básica, a partir das ações do CDI em duas escolas públicas de educação básica, com o intuito de identificar categorias fundamentais de interdisciplinaridade nos discursos e ações desses professores.

A interdisciplinaridade só existe se, de fato, ela estiver incorporada nas práticas e nos discursos dos sujeitos escolares. Por isso, antes de avaliarmos a efetividade pedagógica (aprendizado pelos estudantes) dessas ações, faz-se necessário avaliar se de fato alcançamos um dos principais objetivos: a efetiva articulação interdisciplinar na ação docente escolar.

¹ Computer Science Unplugged - <http://csunplugged.org/>

2. Metodologia

2.1. Natureza da pesquisa

Para esta pesquisa, de natureza qualitativa e interdisciplinar, foram utilizadas abordagens em que o objetivo principal foi entender os sujeitos e seu contexto, por meio de um estudo de caso.

Ao longo do estudo de caso foram utilizadas duas técnicas de registro e tratamento dos dados coletados: diário de bordo e entrevistas. O diário de bordo registrou a observação dos participantes, imagens (fotografias) e relatos das observações durante as intervenções.

2.2. Caracterização do campo

O campo de pesquisa consistiu em um conjunto de dois coordenadores pedagógicos e 10 professores do ensino fundamental II e do ensino médio (1º e 2º anos) de duas escolas públicas de educação básica em Salvador, conforme Quadro 1.

Quadro 1. Resumo dos professores e coordenadores participantes por série e área de atuação

Série	Área	Função
Ensino Médio	Coordenação Pedagógica	Coordenador 1
Fundamental II	Vice direção	Coordenador 2
6º ano - Fundamental II	Matemática	Professor 1
8º ano - Fundamental II	Filosofia/Sociologia	Professor 2
9º ano - Fundamental II	Filosofia/Sociologia	Professor 3
8º ano - Fundamental II	Ciências	Professor 4
1º ano - Ensino Médio	Língua Portuguesa	Professor 5
1º ano - Fundamental II	Língua Portuguesa	Professor 6
7º ano - Fundamental II	Filosofia/Sociologia	Professor 7
1º ano - Ensino Médio	Biologia	Professor 8
1º ano - Ensino Médio	História	Professor 9
1º ano - Ensino Médio	Língua Inglesa	Professor 10

2.3. Caracterização das intervenções

No primeiro contato do grupo de pesquisa com os professores, convidamos os interessados a participar do projeto. Desses professores, coletamos algumas informações de contato, sobre suas disciplinas, turmas e respectivos conteúdos. Com essas informações em mãos, o grupo se reuniu para planejamento das atividades. Cada plano de aula foi criado a partir de ideias do grupo com objetivo de ensinar o conteúdo programático de cada professor junto à um conteúdo pedagógico de Computação. Ao longo do processo os professores acompanharam e opinaram acerca da atividade.

Finalizado o processo de elaboração dos planos de aula, as intervenções foram marcadas e aplicadas em datas e horários de aula combinadas com o próprio professor, conforme Quadro 2.

Quadro 2. Resumo das intervenções realizadas nas escolas

Resumo da Atividade	Série	Conteúdo de Computação	Conteúdo da Disciplina	Disciplina Curricular
Intervenção 1: Apresentamos o caminho que um processo percorre na máquina e depois fizemos uma comparação do processo similar que ocorre no nosso sistema nervoso.	8º ano	Sistemas Operacionais	Sistema Nervoso	Ciências
Intervenção 2: Conversamos e refletimos sobre como a Indústria Cultural intervém na publicidade e de como a representação das imagens é feita por meio do computador.	9º ano	Representação de imagens	Indústria	Filosofia
Intervenção 3: Conversamos e refletimos a respeito das ações das pessoas nas redes sociais e os reflexos delas nas relações sociais do mundo real.	7º e 8º anos	Redes Sociais	Sentido da Vida e Morte	Filosofia
Intervenção 4: Demonstração da construção de um algoritmo para solução do desafio proposto que consistia no nivelamento da água em três recipientes de quantidade distintas.	6º ano	Lógica de Programação	Frações Decimais	Matemática
Intervenção 5: Utilizando o recursos da lógica de raciocínio através do uso de operadores condicionais fizemos com que os alunos associassem mais facilmente as regras para concordância dos verbos ao seu sujeito.	9º ano	Operadores Condicionais	Concordância Verbal	Língua Portuguesa
Intervenção 6: Explora a analogia entre Humanismo ter o homem como centro e a IHC também, perpassando pela semiótica dos símbolos que estão presentes nas redes.	1º ano	IHC (Usabilidade e Semiótica)	Características do Humanismo	Língua Portuguesa
Intervenção 7: Por meio da construção de um programa são praticadas e fixadas as regras de formação de plurais regulares no inglês.	1º ano	Lógica de Programação	Regras de formação do plural	Inglês
Intervenção 8: Utilizando um esboço procuramos trabalhar o conceito de redes e mostrar a relação/ ligação entre as informações.	1º ano	Topologia de Redes de Computadores	Humanismo, Classicismo e Quinhentismo	Língua Portuguesa
Intervenção 9: Explora a relação da importância das partes da célula para o funcionamento dela e os componentes de hardware para o funcionamento do computador.	1º e 2º anos	Componentes básicos de Hardware	Estrutura e componentes da célula	Biologia
Intervenção 10: Trazendo elementos da história do Brasil e capitâneas hereditárias é feita uma relação entre a divisão dessas capitâneas e a divisão na memória do computador.	1º ano	Partições de uma máquina	Capitâneas Hereditárias	História

2.4. Procedimentos de coleta e registro dos dados

A nossa pesquisa tomou como instrumento de observação os diários de bordo. As coletas foram realizadas em sala durante as aplicações de atividades, considerando o comportamento de todos os sujeitos envolvidos: pesquisadores, professor e alunos.

O diário é um instrumento considerado por muitos pesquisadores como uma escrita reflexiva. Segundo Alves (2001):

o diário pode ser considerado como um registro de experiências pessoais e observações passadas, em que o sujeito que escreve inclui interpretações, opiniões, sentimentos e pensamentos, sob uma forma espontânea de escrita, com a intenção usual de falar de si mesmo. (p.224)

Segundo Stake (1995), as observações dirigem o pesquisador para a compreensão do caso, para isso se faz necessário um registro apurado dos acontecimentos de forma que venham fornecer uma descrição fiel dos fatos e consequentemente venham contribuir com a análise dos dados e relatórios finais.

Durante a aplicação das intervenções, dois ou mais pesquisadores trabalharam dentro da sala de aula exclusivamente na observação e registro dos sujeitos. Posteriormente essas informações foram descritas sob o ponto de vista de cada observador e compartilhadas com o grupo. Além dos diários de bordo, os registros incluem também imagens e/ou filmagens.

Além do diário de bordo foram realizadas entrevistas com os 12 sujeitos (coordenadores pedagógicos e professores) com o objetivo de coletar discursos contidos na fala dos sujeitos. As entrevistas foram individuais ao final das intervenções com os professores participantes das intervenções e com as respectivas coordenações pedagógicas.

O roteiro da entrevista foi elaborado com 15 perguntas abertas com o objetivo de conhecer o professor participante da ação e como é sua relação com os alunos dentro da sala de aula; bem como compreender o entendimento de interdisciplinaridade desse professor diante das ações de CDI desenvolvidas.

As entrevistas foram agendadas conforme disponibilidade de dia e horário de cada professor e coordenação pedagógica e realizadas após aplicação de todas as intervenções no próprio ambiente escolar. Foram realizadas gravações das falas dos professores, mediante termo de consentimento assinado, em seguida as entrevistas foram transcritas e analisadas pelos pesquisadores.

2.5. Análise de dados

No processo de tratamento dos dados foi utilizado o método de Análise de Conteúdo. Para Bardin (2009), a Análise de Conteúdo configura-se como um conjunto de técnicas de análise das comunicações que utiliza procedimentos sistemáticos e objetivos de descrição do conteúdo das mensagens. Trata-se de um processo investigativo onde os resultados são resultantes de testes de associação de palavras - estereótipos e conotações. Isso exige que o investigador tenha um esforço duplo que consiste em entender o sentido da comunicação, atuando como um receptor normal, e buscando outra significação ou mensagens implícitas.

A metodologia da análise de conteúdo organiza-se nas seguintes etapas: (i) pré-análise; (ii) exploração do material; e (iii) tratamento dos resultados: inferências e interpretação. Durante o processo de organização foram seguidos os seguintes passos:

- definição de questões e problemas;
- levantamento da hipótese (“existe interdisciplinaridade nas intervenções realizadas nas escolas nos ensinamentos dos fundamentos de computação?”);
- codificação de dados;

- definição das categorias;
- inferências e interpretações.

Visando favorecer o processo de planejamento de análise, bem como as etapas seguintes, facilitando a visualização dos dados para produção das inferências, utilizou-se o software QDA Miner[®].

3. Resultados

Baseado nos conceitos apontados por Yared (2008) acerca da interdisciplinaridade, inicialmente utilizaríamos as seguintes categorias: *integração*, *movimento*, *relação dialógica (reciprocidade e troca)*, *protagonismo do sujeito*, e *aproximação da realidade*. Esses termos, segundo a autora estão atrelados à interdisciplinaridade tornando o sujeito um protagonista de sua própria história e evitando que a disciplinaridade se torne vazia.

Segundo Oliveira e Neto (2016), os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) ressaltam a necessidade de o ensino estar voltado à articulação entre áreas, tanto conceitualmente quanto na prática, para que dessa forma os alunos estejam aptos a relacionar o que estão aprendendo com a sua realidade. Segundo Japiassu (1976), essa articulação entre áreas estabelece a interdisciplinaridade, uma vez que a colaboração entre uma ou mais disciplinas promovem interação e reciprocidade capaz de enriquecer ambas.

Diante desses pressupostos priorizou-se trabalhar na análise das entrevistas com as seguintes categorias: *integração*; *interação e reciprocidade*; e *aproximação da realidade*. Porém ainda que identificadas separadamente, a análise foi realizada a partir da integração dessas categorias, uma vez todas sustentam a interdisciplinaridade como afirma Alves (2008):

Na realidade, esta visão de interdisciplinaridade estava em seu estágio inicial, de meados dos anos 1970, no qual a integração dos conteúdos era considerada interdisciplinaridade. Porém este é o primeiro passo para a interação entre as pessoas, condição básica para a efetivação de um trabalho interdisciplinar “que só pode ocorrer num regime de co-participação, reciprocidade, mutualidade”. (p. 99)

Como resultado dessa análise foram sumarizadas as principais evidências a partir das falas dos professores para cada categoria, conforme Quadro 3. A identificação dos professores e coordenadores entrevistados segue uma ordem crescente seguida da sigla da disciplina que lecionam (LP - Língua Portuguesa, M - Matemática, C - Ciências, F/S - Filosofia e/ou Sociologia, H - História, I - Inglês, Q - Química, B - Biologia).

Quadro 3. Concepções dos professores acerca das intervenções

Categorias	Identificação das categorias nas falas dos professores
Integração	<i>"...uma forma de <u>facilitar o entendimento dos conteúdos</u> dos alunos em matemática, [...] e percebi que <u>com aplicação do projeto eles conseguiram ter entendimento melhor acerca do conteúdo</u>. [...] <u>atenção dos meninos em relação aos conceitos que estavam sendo abordados naquele momento</u>." (professor 1 - M)</i>
	<i>"...mas eu acho que ele poderia entrar como <u>um conteúdo dentro de uma disciplina como linguagens, português</u>. <u>Aí poderia ser em Sociologia, poderia ser em alguma disciplina a aliar o conteúdo</u>." (professor 2 - F/S)</i>

	<p>"...a organização da metodologia, primeiro de <u>trazer o conceito do tema que nós estávamos trabalhando</u>, é... <u>passar a parte teórica desse conceito e depois fazer parte prática que foi a parte da formação daquelas leituras que são chamadas leituras de máquina depois né?</u>" (professor 3 - F/S)</p> <p>"Eu acho que é uma proposta nova, eu acho que tudo que é <u>novo que agrega construção de conhecimento de uma forma diferenciada</u>, vale a pena." (coordenadora 1)</p> <p>"... dando célula pra eles eu digo:ó <u>imagina que nesse momento aqui eu sou o cérebro e estou numa posição de comando e também vou comparando as paredes, no caso com a membrana e eles fizeram isso também direitinho.</u>" (professor 8 - B)</p> <p>"...eu acho muito importante <u>além das aulas curriculares, também ter outros instrumentos pra gente trabalhar com a juventude, ..</u>" (professor 9 - H)</p> <p>"...<u>todos os conteúdos que possam ser agregados são válidos [...]</u> quando colocou que <u>podia ser para qualquer disciplina, qualquer assunto</u> eu achei muito interessante eu achei que dá para explorar Muito mais coisa." (professor 4 - C)</p> <p>"Como vocês contextualizaram, a <u>contextualização do assunto com a proposta de atividade.</u>" (professor 5 - LP)</p> <p>"...vocês conseguiram <u>unir o assunto</u>, ou seja usou um <u>trabalho interdisciplinar aliando tanto a computação quanto os dois assuntos trabalhados</u>, ..." (professor 6 - LP)</p>
<p>Interação e reciprocidade</p>	<p>"...é o fato deles estarem aprendendo a informática de forma interdisciplinar aliada a uma disciplina, <u>sem perceber que está usando, acontecendo, [...]</u> Quando eles forem utilizar os computadores, eles perceberão que tudo aquilo ali, <u>eles conseguiram perceber sem ter tido o, a necessidade de ter tido o acesso a máquina.</u>"(coordenador 2)</p> <p>"...com aplicação do projeto eles conseguiram ter entendimento melhor acerca do conteúdo. " [...]<u>Eu particularmente não imaginei que o conteúdo de fração fosse apresentado da forma com que ele foi, [...]</u>e depois eles <u>perceberam que tudo que é dito eles fazem no computador [...]</u> após a aplicação desse conteúdo por <u>meio da computação desplugada eu percebi que eles já estavam com a noção melhor de fração.</u>" (professor 1 - M)</p> <p>"Acho que principalmente isso. Acho não, eu tenho certeza. Acho que <u>veio coincidir com o tema e eu acho que reafirmou tudo que eu já vinha discutindo.</u>"(professor 2 - F/S)</p> <p>"... como <u>uma forma de construção do conhecimento, [...]</u> <u>expandindo mais ainda esse leque de conhecimento, é maravilhoso!</u>"(coordenador 1)</p> <p>"...eles começaram a entender a proposta e começaram a interligar com o assunto. [...]<u>consegui completamente ser penetrado com outra linguagem.</u>" (professor 9 - H)</p> <p>"E eles <u>participando, entendendo, interagindo</u>, isso foi o que mais me chamou atenção." (professor 10 - I)</p> <p>"...eu entendi que após eles terem trabalhado a atividade interdisciplinar eles <u>fizeram a tarefa que vocês pediram e eles conseguiram assimilar a minha aula, fizeram a minha prova, e eles conseguiram assimilar o conteúdo programático sobre quinhentismo direitinho.</u>" (professor 6 - LP)</p>
<p>Aproximação da realidade</p>	<p>"...achei interessante, visto que tudo que é <u>diferente e tecnológico</u>, pra, hoje em dia principalmente pros alunos, torna-se mais atraente ,para eles, no que se refere ao aprendizado." (coordenador 2)</p>

<p><i>"...deveria ter <u>mais iniciativas nesse sentido auxiliar os alunos no tocante do entendimento dos conteúdos que eles não conseguem similar dentro da forma tradicional de aula. [...] queria que as aulas fossem naquele formato [...] Eu achei a iniciativa do projeto muito boa [...] eles não têm muito acesso a esse tipo de <u>forma de se trabalhar em sala [...] inserindo a modalidade dos demais conteúdos em sala de aula para facilitar o entendimento dos meninos [...] então se mostrar pra ele que <u>isso que eles trabalham no dia a dia ele pode está aplicando os conteúdos...</u>" (professor 1 - M)</u></u></i></p>
<p><i>" Eu aceitei porque eu pensei que podia ser <u>algo inovador e interessante é, no processo de aprendizagem dos alunos, inclusive é... algo que vem de novo, que <u>tira um pouco desse formato da sala de aula</u> né? [...] essa ação ela é útil por conta que dá uma... <u>uma nova roupagem</u> até o próprio conhecimento dado em sala de aula, <u>abre mais leque de oportunidade</u> pra o aluno né? novos olhares. [...] não sei se por novidade ou se aquela forma de trabalhar motivou. [...] Eu percebi que eles gostaram muito da parte mesmo prática," (professor 3 - F/S)</u></i></p>
<p><i>"...então <u>quanto mais inovações, e ligadas à tecnologia, porque essa é uma <u>geração que utiliza muito os recursos digitais...</u>" (professor 10 - I)</u></i></p>
<p><i>"...tudo que possa <u>despertar a curiosidade e interesse do aluno [...] tudo é necessário, a gente possa <u>ligar a vivência dele estudando em sala de aula. [...] Quando a gente associa a vivência dele com a formação dos Estudantes eles aprendem muito mais.</u>" (professor 4 - C)</u></i></p>
<p><i>"...porque todos em em algum momento estavam ali <u>envolvidos com uma atividade nova...</u>" (professor 5 - LP)</i></p>
<p><i>"...vocês estarem colocando <u>algo que foge, digamos assim ao habitual...</u>" (professor 6 - LP)</i></p>
<p><i>"...discutindo uma coisa é do <u>total interesse deles, mas falando em uma outra linguagem, né, falando de outras possibilidades [...] principalmente porque é <u>um tema do cotidiano deles, [...], é um tema do cotidiano, <u>mas mostrando uma outra forma um outro formato...</u>" (professor 8 - F/S)</u></u></i></p>

Por meio da interpretações e inferências após a categorização, foi possível identificar pelo menos uma das categorias nas falas de cada professor. A pesquisa evidencia que embora os professores concordassem que projetos interdisciplinares contribuam com o aprendizado, muitos não falam claramente da percepção de interdisciplinaridade nos projetos, sendo necessária uma análise criteriosa dos dados para afirmar o seu entendimento sobre o tema.

Visando analisar as concepções dos professores e coordenadores das escolas acerca da interdisciplinaridade as perguntas foram referentes à importância e expectativa do projeto CDI na escola e os resultados obtidos após a aplicação das atividades.

Foi perceptível que na concepção da maioria dos professores a interdisciplinaridade está relacionada à *integração* das disciplinas e conteúdos. Isso ratifica mais uma vez o que Japiassu (1976) trata como articulação entre áreas. Para Alves (2008) a integração é o primeiro passo para a interação entre as pessoas, condição básica para a efetivação de um trabalho interdisciplinar.

A segunda categoria mais percebida pelos professores foi a *aproximação da realidade*. Fazenda (2002) afirma que além do desenvolvimento de novos saberes, a interdisciplinaridade na educação favorece novas formas de aproximação da realidade

social e novas leituras das dimensões socioculturais das comunidades humanas. Quanto mais a escola contextualiza seus saberes com a realidade do sujeito mais proveitoso é o processo de aprendizagem e o aluno tem interesse com essa aproximação. Quase 70% dos professores se referiram ao projeto como algo novo, inovador, associado ao cotidiano e a vivência do aluno. Acreditamos, portanto que a interdisciplinaridade se aprende praticando ou vivendo em situação real e contextualizada (Fazenda, 2002).

Para finalizar as buscas por concepções acerca da interdisciplinaridade nas entrevistas destacamos aqui a *interação e reciprocidade*. A reciprocidade é definida por Fazenda como uma das teorias da interdisciplinaridade e aponta para a possibilidade de abrir fronteiras e criar zonas de interseção com o outro. Essa interseção tratada pela autora é visível nas opiniões dos professores, embora não estejam explícitas como observamos na fala do professor 1 - LP “... é o fato deles estarem aprendendo a informática de forma interdisciplinar aliada a uma disciplina, sem perceber que está usando, acontecendo, ...”. Contudo percebemos que há uma interação entre as disciplinas que mutuamente se completam permitindo que o aluno compreenda o todo.

4. Considerações finais

Este artigo apresentou resultados parciais de uma pesquisa sobre a percepção da interdisciplinaridade nas ações de ensino de computação por professores da educação básica. Esta pesquisa foi realizada em duas escolas públicas de Salvador por meio de intervenções do Projeto Computação Desplugada Interdisciplinar. A análise dos diários de bordo e das entrevistas realizadas com os professores voluntários deste projeto permitiu verificar que a maioria dos professores compreende a interdisciplinaridade como a integração de uma ou mais disciplinas para entendimento de assuntos relacionados a ambas. Constatamos também que o professor entende que a prática interdisciplinar na escola contribui no processo de aprendizagem do aluno, contudo os conceitos ainda precisam ser aprimorados.

Todos os entrevistados afirmaram que projetos interdisciplinares motivam o aluno, pois na maioria das vezes esse tipo de metodologia cria situações que aproximam o aluno da sua realidade, fator que facilita o aluno compreender situações complexas.

Partindo dessas concepções iniciais dos professores e coordenadores que participaram do projeto CDI e embasados no conceito de interdisciplinaridade postulado por Fazenda (2008), podemos concluir que existe a necessidade de mais reflexões teóricas e ações efetivamente integradoras na/com/para a escola, tanto por parte dos pesquisadores quanto da comunidade escolar. Essas reflexões e ações permitirão maior compreensão do conceito de interdisciplinaridade e contribuirá futuramente para as novas intervenções do CDI.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) e à FAPESB (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia) pelo apoio financeiro a esta pesquisa e aos integrantes do Projeto Computação Desplugada Interdisciplinar da UFBA por atuarem nas intervenções.

Referências

Alves, F. C. (2001). *Diário – um contributo para o desenvolvimento profissional dos professores e estudo dos seus dilemas*. Instituto politécnico de Viseu. Disponível em

- <<http://www.ipv.pt/millennium/Millennium29/30.pdf>> acessado em 12 de fevereiro de 2017.
- Alves, A. (2008). "Interdisciplinaridade e matemática". Fazenda, I. (org.) *O que é interdisciplinaridade*. São Paulo. Cortez. p. 97-111.
- André, M. E. D. A. (2005). *Estudo de Caso em Pesquisa e avaliação educacional*. Brasília: Liber Livro Editora.
- Bell, T., Witten, I. H.; Felows, M. (2011). *Computer Science Unplugged*. Csunplugged.org.
- Cañete, L. S. C. (2010). *O diário de bordo como instrumento de reflexão crítica da prática do professor*. Belo Horizonte, UFMG.
- Cassiani, S. B.; Carili, M. H. L.; Pelá, N.T.R. (1999). A teoria fundamentada nos dados como abordagem da pesquisa interpretativa. *Rev.latino-am.enfermagem*, v. 4, n. 3, p. 75-88.
- Fazenda, I. (2002). *Dicionário em construção: Interdisciplinaridade*. 2. ed. São Paulo: Cortez.
- _____. (2008). "Interdisciplinaridade-Transdisciplinaridade: visões culturais e epistemológicas". Fazenda, I. (org.) *O que é interdisciplinaridade*. São Paulo. Cortez. p. 17-28.
- Fernandes, E. M.; Maia, A. (2001). *Grounded theory: métodos e técnicas de avaliação: contributos para a prática e investigação psicológicas*. Braga: Universidade do Minho. Centro de Estudos em Educação e Psicologia. p. 49-76.
- Japiassu, H. (1976). *Interdisciplinaridade e patologia do saber*. Rio de Janeiro: Imago.
- Ludke, M.; André, M. E. D. A. (1986). *Pesquisa em Educação: abordagens qualitativas*. São Paulo: EPU.
- Matos, E. S., Paiva, L. F., Miranda, A. M., Ferreira, A. C. C.; Barreto, J. S. (2015) Experiência prática interdisciplinar do raciocínio computacional em atividades de computação desplugada na educação básica. In: XXI Workshop de Informática na Escola, Maceió. *Anais do Workshop de Informática na Escola*. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2015. v. 21. p. 256-265.
- Paiva, F., Ferreira, A. C., Rocha, C., Barreto, J., Lopes, R. H., Melhor A. M.; Matos, E. S. (2015) Uma Experiência Piloto de Integração Curricular do Raciocínio Computacional na Educação Básica. I Workshop de Ensino em Pensamento Computacional, Algoritmos e Programação. In: *Anais dos Workshops do Congresso Brasileiro de Informática na Educação*. Porto Alegre: SBC, v. 4. p. 1300-1309.
- Ribeiro, J. S. (2005). Informática na Educação: teoria & prática. *Interdisciplinaridade*, Porto Alegre, v. 8, n. 2.
- Stake, E.E. (1978). The Case Study Method in Social Inquiry. *Educational Researcher*, v. 7, n. 2.
- Yared, I. (1995). *Interdisciplinaridade e sistema preventivo: sonho-realidade*. Lorena: Quadrante.

Relato sobre o desenvolvimento e uso de objeto de aprendizagem com elementos de aprendizagem baseada em problemas no contexto de Computação para Engenharias

Narci Nogueira da Silva¹, Marco Aurélio Graciotto Silva¹

¹ Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Departamento Acadêmico de Computação – Campo Mourão – PR – Brasil
Programa de Pós-Graduação em Informática – Cornélio Procópio – PR – Brasil

{narci, magsilva}@utfpr.edu.br

Abstract. *Problem-based learning (PBL) is a successful approach for Computing education for Engineering, Nonetheless, it is not trivial to create and disseminate educational resources that support PBL activities. Learning objects (LO) can address these problems, supporting development and reuse. Using a method tailored for LO development with PBL elements, our goal within this paper is to report the development of an LO about computer programming, and its implementation for a Engineering program setting. After evaluating the PBL activity and the LO, students considered both good, and provided evidences supporting the motivation and efficacy of the learning activity.*

Resumo. *Considerando o ensino de computação para engenharia, a aprendizagem baseada em problemas (PBL) é uma abordagem bem sucedida. No entanto, não é trivial criar e disseminar recursos educacionais que apoiem atividades de PBL. Objetos de Aprendizagem (OA) podem abordar esses problemas, apoiando o desenvolvimento e a reutilização. Considerando um método para desenvolvimento de OA que agrega elementos de PBL, nosso objetivo, neste trabalho, é relatar o desenvolvimento de um OA sobre programação de computadores e a utilização do OA para um grupo de alunos de Engenharia. Após a avaliação da atividade e do OA pelos alunos, eles classificaram ambas como boas e apresentaram evidências positivas quanto à motivação e a eficácia do aprendizado.*

1. Introdução

Estudantes normalmente têm dificuldades no entendimento dos conceitos básicos em disciplinas introdutórias à computação. Isso não acontece somente nos cursos da área de Informática, mas também de outras áreas, como Engenharias [Bosse e Gerosa 2015]. A utilização de metodologias ativas de aprendizagem possui um papel importante na resolução deste cenário. Dentre essas, destacamos a Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL). Nesta, as atividades são centradas na resolução de problemas por parte do alunos, os quais deixam de ser receptores do conhecimento, tradicionalmente passado pelo professor, e se tornam os condutores principais do próprio aprendizado. O professor firma-se como facilitador para que seus alunos cumpram as etapas de resolução

do problema apresentado e construam o conhecimento baseado em sua experiência e em novos conhecimentos pesquisados ou compartilhados pelos alunos [Gil 2015].

Não obstante a relevância de PBL, depara-se com a questão de transferir e aplicar tais atividades em diferentes contextos. Recursos educacionais abertos (REA) e objetos de aprendizagem (OA) que fomentem o reuso dos recursos para suporte às atividades de ensino [Wiley 2000], preferencialmente de forma aberta [Albright 2005], são facilitadores para o processo de transferência de atividades e experiências de aprendizagem.

Considerando iniciativas para o desenvolvimento sistemático de tais artefatos, torna-se necessária a representação de aspectos e elementos de metodologias ativas. Neste âmbito, apresentamos neste artigo um relato de experiência sobre o uso de um método para desenvolvimento de OA para utilização em atividades de PBL. Nosso objetivo é descrever a aplicação do método e o uso do objeto de aprendizagem criado.

O objeto de aprendizagem foi criado para turmas iniciais de cursos de Engenharia e trata de conceitos básicos de programação de computadores. O método é baseado no LODM [Graciotto Silva et al. 2011], uma abordagem baseada em modelos para desenvolvimento de objetos de aprendizagem. Foram incorporados itens de informação específicos para PBL e adicionadas atividades para auxiliar a definição desses itens. Após o desenvolvimento, o objeto foi utilizado em duas aulas (com intervalo de sete dias entre elas), permitindo-nos avaliar sua qualidade e realizar considerações sobre o objeto e o método.

O restante deste trabalho está organizado da seguinte forma. A Seção 2 apresenta os principais conceitos relacionados à PBL. Considerando PBL e LODM, na Seção 3 descrevemos, sucintamente, o método para desenvolvimento de OA com PBL considerado neste estudo. As Seção 4 e Seção 5 contém, respectivamente, o relato sobre o desenvolvimento do OA e o uso deste objeto com um grupo de alunos dos cursos de Engenharias. Trabalhos relacionados são apresentados na Seção 6. Finalmente, apresentamos as conclusões e perspectivas para futuros trabalhos na Seção 7.

2. Aprendizagem Baseada em Problema - PBL

A Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL) é uma abordagem em que os alunos têm o objetivo de resolver um problema, deixando de ser receptores do conhecimento passado pelo professor e se tornando o condutor principal do próprio aprendizado. A ideia principal da PBL é buscar que o próprio aluno construa seu conhecimento e que ele se interesse em resolver o problema antes de receber os conteúdos, mudando sua postura no aprender. Assim o aluno adquire uma autonomia e mostra que pode compreender determinados assuntos ou conhecimentos com sua própria visão. O professor tem um papel diferenciado do modo tradicional de ensinar e se torna um facilitador para que seus alunos cumpram as etapas de resolução do problema apresentado [Gil 2015].

Tipicamente, a abordagem PBL tem início com a apresentação de um problema aos alunos, sem nenhuma informação e instrução sobre a solução do problema. O problema em si tem a finalidade de fazer o alunos, individualmente ou em grupo, estudar os assuntos relacionados analisando o problema e possíveis soluções. Quando os alunos identificam as questões importantes, eles realizam o estudo individual antes de se reunir com o grupo para que todos os membros troquem informações e

conhecimentos pesquisados e ainda os da sua experiência e vivência, para tentar resolver o problema [Mamede 2001]. A fase final da abordagem envolve a atividade de reflexão para que os alunos avaliem seu próprio progresso e também o dos outros membros do grupo [Ribeiro 2008].

3. Método - LODM + PBL

O LODM (*Learning Object Development Method*) é um método de desenvolvimento de OA [Graciotto Silva et al. 2011] derivado do IMA-CID [Barbosa e Maldonado 2011], composto de três modelos: conceitual, instrucional e de interação. Os modelos são definidos de forma iterativa, conforme apresentado na Figura 1. Inicia-se pelo modelo conceitual, representando-se os objetivos educacionais por conceitos e proposições em um mapa conceitual [Novak 1977]. A partir deste, cria-se o modelo instrucional, definindo-se itens de informação e atribuindo-lhe um papel instrucional dentro da estrutura da atividade de aprendizagem. Finalmente, o modelo de interação estabelece a sequência de instrução e as interações aplicáveis ao objeto de aprendizagem. A partir do modelo de interação, procede-se à geração do objeto de aprendizagem para a plataforma de execução de sua escolha (apresentação tradicional ou programa para televisão digital).

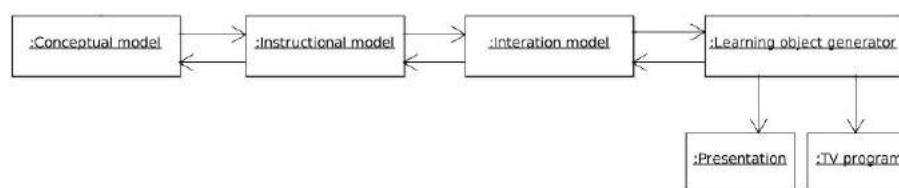


Figura 1. Visão geral dos modelos empregados no LODM [Graciotto Silva 2012].

Considerando as características e requisitos das atividades de aprendizagem com PBL, observa-se que os elementos chaves de PBL são a formulação de questões, que podem ser exploradas e respondidas através de uma investigação sistemática e auto-dirigida, e o teste e a revisão das hipóteses através da aplicação dos conhecimentos recentemente adquiridos. Para o processo são essenciais a discussão ativa e a análise dos problemas, hipóteses, mecanismos e tópicos de aprendizagem, capacitando assim os estudantes a adquirir e aplicar conhecimentos, permitindo-os colocar em prática as habilidades de comunicação e trabalho em equipe.

Para a representação dos elementos necessários ao PBL nos modelos do LODM, mais especificamente ao modelo instrucional, foram definidos uma coleção de elementos do tipo *PBL Element* com os seguintes esteriótipos: *Problem*, *Solution* e *Team*, conforme mostrado na Figura 2.

O esteriótipo *Problem* representa um item de informação que apresenta uma situação real. Deve ter características específicas da área de conhecimento como o nome, o enunciado e os conceitos a serem abordados e aprendidos. O esteriótipo *Solution* representa um item de informação que busca que os membros do grupo (alunos) apresentem a solução ou soluções para o problema, levando em consideração as características do problema, o material fornecido pelo professor, as informações buscadas ou pesquisadas durante a atividade PBL e os conhecimentos adquiridos durante a vida. O esteriótipo *Team* representa os grupos de alunos formados no início da atividade PBL,

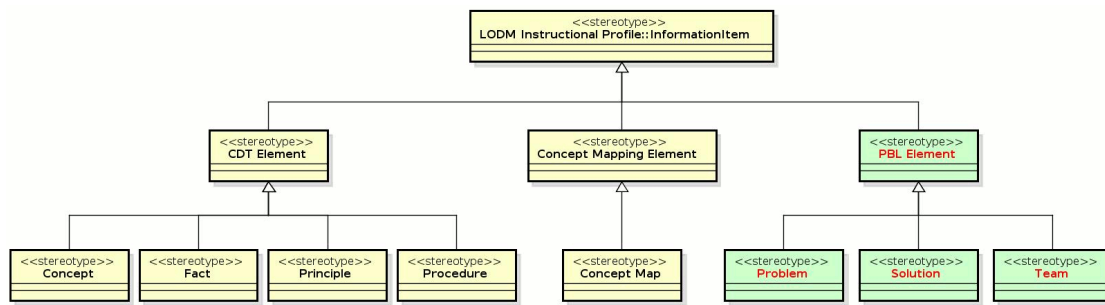


Figura 2. Elementos de PBL adicionados ao LODM.

em que os membros devem eleger um coordenador e um relator. O coordenador tem a função de organizar o trabalho em equipe. O relator é responsável por fazer as anotações que serão utilizadas para a elaboração dos relatórios.

4. Desenvolvimento

O estudo foi conduzindo para o contexto de alunos dos primeiros períodos de cursos de Engenharia e para o ensino de Computação. Para o desenvolvimento do OA foi utilizando o método LODM com PBL, conforme apresentado na Seção 3, organizando-se em três fases: análise, design e desenvolvimento.

Para o início do desenvolvimento do OA foi necessário fazer uma análise para se definir o curso, a área, a disciplina, os objetivos educacionais e o perfil do aluno. Estes objetivos foram definidos, criando-se o modelo conceitual na forma de um modelo de conhecimento estruturado em conceitos e proposições.

Na fase de Design, com o problema definido, fez-se a análise do conteúdo utilizando os mapas criados segundo o LODM, analisando os OA's existentes, as anotações e rascunhos, para se definir a estrutura do OA. Conhecendo os conceitos, definiu-se a organização das informações necessárias para as execuções das atividades de aprendizagem com o modelo instrucional, apresentado na Figura 3. Os elementos do contexto da viga engastada são trabalhados em paralelo às atividades que buscam trabalhar conceitos de programação de computadores. Especificamente quanto aos conceitos de computação, duas unidades de instrução foram definidas, aprofundando-se os conceitos esperados para a solução do problema de viga engastada. Em seguida o modelo de interação complementou o modelo instrucional, definindo elementos instrucionais e reorganizando os elementos do modelo instrucional, definindo assim as atividades de aprendizagem em função da sincronização entre os elementos do modelo.

Concluído o design do OA, seguiu-se à fase de Desenvolvimento, criando-se o material com base nos requisitos estabelecidos no modelo conceitual e no projeto especificado no modelo de interação. Também foram preparados os pacotes para alunos e professor, com esquemas de aula, vídeos, materiais impressos contendo o OA em si¹.

¹O objeto de aprendizagem desenvolvido está disponível em https://github.com/NarciNogueira/OA_Viga-engastada/.

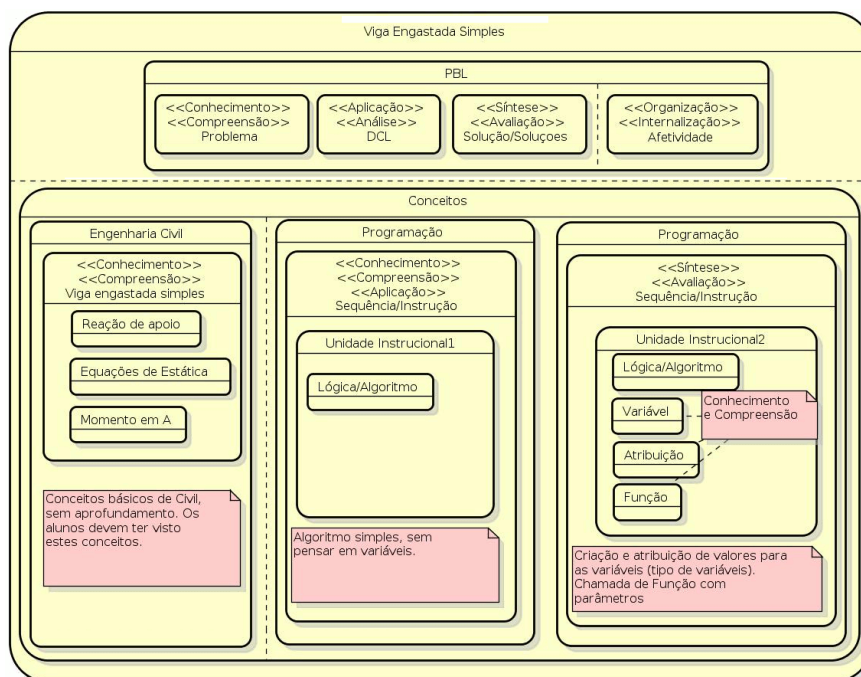


Figura 3. Modelo instrucional do OA sobre viga engastada e programação.

5. Utilização

Com o OA criado, procedeu-se à utilização conforme relatado a seguir. A atividade foi planejada para durar dois dias (com intervalo de sete dias entre eles), fora de horário de aula, viabilizando a livre participação dos alunos. Foram convidados alunos dos primeiros períodos dos cursos de Engenharia que cursavam disciplinas sobre Computação (Fundamentos de Programação e Computação I) da UTFPR, totalizando 124 alunos convidados. Após o período de inscrição, nove alunos confirmaram a participação e sete efetivamente participaram das atividades.

Para cada dia de atividade, uma unidade instrucional, parte do objeto de aprendizagem criado, foi entregue aos alunos. Nas próximas duas subseções, cada uma dessas unidades é descrita.

5.1. Unidade instrucional 1

Antes da entrega da primeira unidade instrucional, foi realizada uma breve explanação de como seria a atividade. Dois vídeos sobre a metodologia PBL foram exibidos nos primeiros 10 minutos. Em seguida, os alunos foram distribuídos em dois grupos, sendo um grupo com 4 e outro com 3 alunos (os alunos elegeram o Coordenador e o Relator). Como o problema de viga engastada é tipicamente abordado em Engenharia Civil, cuidado foi tomado para que pelo menos 1 alunos de Engenharia Civil estivesse em cada grupo.

Iniciou-se então a atividade sobre a viga engastada, entregando-se a primeira unidade instrucional, que apresentava o problema e relacionava conceitos elementares de programação, conforme ilustrado na Figura 4. A atividade teve duração de 1h10m. Alguns questionamentos dos grupos foram feitos durante a atividade e todos foram respondidos no momento planejado no esquema de aula, conforme segue na Tabela 1.

OBJETO DE APRENDIZAGEM (OA)
Engenharia Civil (Viga engastada com carga concentrada).

PACOTE PARA O ALUNO.

Unidade Instrucional 1: Objeto de Aprendizagem (OA) com elementos de PBL (*Problem Based Learning*) para o curso de Engenharia Civil, incluindo elementos de PBL no LODM (*Learning Object Development Method*).

Problema 1 : Viga engastada com carga concentrada.

Tema

Desenvolvimento de um diagrama de corpo livre (DCL) e um algoritmo simples com os passos para a solução do Problema.

Problema

Viga engastada simples com dois pontos, sendo que o primeiro é o apoio (A) e o segundo é onde esta concentrada a carga (B). A carga de -8N esta **concentrada** no ponto B (livre = é uma viga em balanço) à 2 metros do ponto A (fixo = encaixada). No ponto A o apoio é de terceiro gênero (restringe 3 movimentos = na horizontal, na vertical e rotação).
 OBS. o valor da carga é negativo devido o sentido (para baixo).

Mapa Conceitual

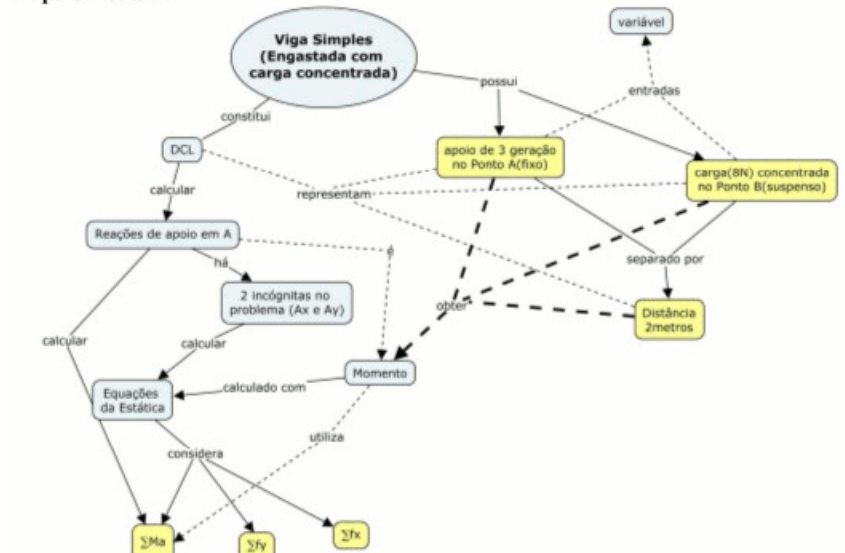


Figura 4. Unidade instrucional utilizada na primeira aula.

Os grupos enviaram o relatório parcial da primeira unidade instrucional no dia seguinte à aula, anexando também o diagrama de corpo livre (DCL) e o algoritmo desenvolvido pela equipe e que soluciona o problema. Os alunos consideram a atividade parcial como estimuladora e os conceitos iniciais de programação foram mostrados de maneira diferente e mais leves do que a forma tradicional de aula em laboratório.

5.2. Unidade instrucional 2

Após uma semana, foi realizada nova atividade, entregando-se a segunda unidade instrucional. Os detalhes do PBL foram lembrados nos primeiros 10 minutos e os vídeos utilizados na unidade instrucional 1 foram reprisados. O produto final esperado foi uma função em *Python* resolvendo o problema, conforme apresentado na Figura 5.

Finalizando a unidade instrucional 2, foi recebido o relatório final de cada grupo, acrescido do algoritmo contendo os conceitos de programação de variáveis e atribuição

Tabela 1. Segmento da Aula 1

Segmento de aula	Tempo	Dinâmica da aula	Atividade
1	10 min	Conduzida pelo professor	Explicação sobre PBL e sobre o Problema (vídeo, etc) Divisão das equipes
2	40 min	Conduzida pelos alunos	Definição dos papéis (Coordenador/Lider, Relator) Conversa sobre a visão de cada membro e divisão das tarefas Resolução do Problema, Elaboração do relatório parcial
3	10 min	Conduzida pelo professor	Debate entre professor e alunos Síntese do professor
4	5 min	Conduzida pelos alunos	Entrega do relatório parcial ou definição de data para enviar o produto da atividade.

de valores à estas variáveis, utilizando o valores correspondentes ao problema e Código Python com a função resolvendo o problema.

5.3. Avaliação dos resultados

Avaliamos a qualidade dos OA considerando a visão dos alunos. Abaixo algumas relatos dos alunos que reforçam que o modelo e a metodologia PBL colaboraram para o estímulo e melhora no entendimento dos objetivos educacionais propostos.

- *”Essa atividade mostrou o quão despreparados nós estamos em fazer algo relativamente sozinho, sem ajuda de um tutor, isso mostra que deveria ter mais incentivo desde a pré escola, para que no futuro nós conseguimos realizar esse tipo de atividade no dia a dia”.*
- *”Devido ao fim de semestre, acabei não dando muito enfoque ao curso. Todavia, o problema relacionado e a metodologia utilizada me influenciaram a comparecer nas atividades presenciais e auxiliar os demais membros na busca por resultados eficientes. Acredito que poderia ter dado mais de mim”.*
- *”Levando em consideração o meu nível de conhecimento, o método proposto auxiliaria bastante para motivar a aprender mais.”*

Desta forma, observa-se que os alunos demonstraram interesse e estavam motivados em realizar a atividade. Corrigidos os relatórios, observou-se também que os objetivos de aprendizagem foram alcançados pelos grupos.

6. Trabalhos Relacionados

A aplicabilidade da PBL como método de ensino de computação para cursos de Engenharia é feita através da implementação de estudos relacionados a problemas específicos de cada área da engenharia [Mahadevan-Jansen et al. 2003, Sun et al. 2012, Zachary 1996].

Por exemplo, um dos primeiros trabalhos sobre PBL em Computação estabelece que o método de resolução de problemas computacionais consiste em 5 etapas: entender o problema e saber exatamente o que fazer para resolver; criar um modelo matemático; criar o método de resolução do modelo matemático; aplicar o método na linguagem de programação C; e avaliar a solução [Zachary 1996].

OBJETO DE APRENDIZAGEM (OA)
Engenharia Civil (Viga engastada com carga concentrada).

PACOTE PARA O ALUNO.

Unidade Instrucional 2: Objeto de Aprendizagem (OA) com elementos de PBL (*Problem Based Learning*) para o curso de Engenharia Civil, incluindo elementos de PBL no LODM (*Learning Object Development Method*).

Problema 1 : Viga engastada com carga concentrada.

Tema

Acrescentar ao algoritmo os **conceitos de programação de variáveis e atribuição de valores** a estas variáveis utilizando os valores correspondentes ao problema e **desenvolver uma função em Python** resolvendo o problema.

Problema

Viga engastada simples com dois pontos, sendo que o primeiro é o apoio (A) e o segundo é onde esta concentrada a carga (B). A carga de $-8N$ esta concentrada no ponto B (livre = é uma viga em balanço) à 2 metros do ponto A (fixo = encaixada). No ponto A o apoio é de terceiro gênero (restringe 3 movimentos = na horizontal, na vertical e rotação). OBS. o valor da carga é negativo devido o sentido (para baixo).

CONCEITOS :

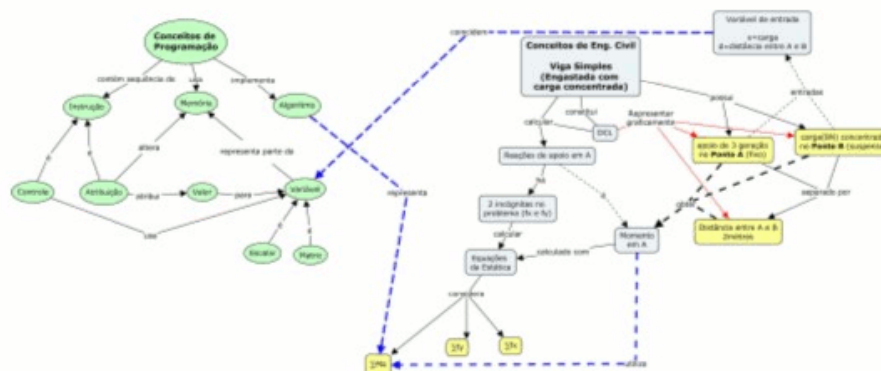


Figura 5. Unidade instrucional utilizada na segunda aula.

Em outro artigo, [Sun et al. 2012] relatam a experiência de um curso de introdução a computação para cursos de engenharia, com a disponibilização dos vídeos dos slides das palestras (material online), tentando suprir a falta de aulas teóricas. Após os alunos assistirem os vídeos eles vão ao laboratório fazer os exercícios práticos baseados na resolução de problemas (PBL) com a supervisão de instrutores.

Ainda, [Silva e Borges 2016] apresentam uma proposta de ensino de conceitos de lógica de programação utilizando kit robótico como ferramenta pedagógica baseada no método *Problem-Based Learning* (PBL) e na Aprendizagem Colaborativa. Este proposta visa demonstrar maneiras para trabalhar alguns conceitos da LP com objetivo de identificar o melhor uso dos recursos oferecidos pelo kit, buscando despertar o interesse dos alunos propiciando a melhor compreensão dos conceitos trabalhados.

Também [Brauner et al. 2016] apresentam um evento de ensino que estimula a prática multidisciplinar do ensino de computação através de uma competição ou maratona

(*Hackathons*). Este evento de programação foca a resolução de problemas através de uma dinâmica colaborativa e competitiva. As atividades desta maratona foram realizadas eletronicamente pela página Web <http://computacao.cc/codearena/>. Estas atividades foram: chamada de ideias; formação das equipes(times); reunião de aquecimento; apresentações dos produtos a etapa de premiação.

Por fim, [Araújo et al. 2015] relatam a experiência, com ênfase na prática docente, de um minicurso de lógica de programação planejado e executado conforme os princípios da metodologia PBL, com o objetivo de estimular o pensamento computacional em crianças do ensino fundamental. As principais ações associadas ao planejamento do minicurso, referem-se à definição de objetivos educacionais claros e precisos conforme a Taxonomia de Bloom Revisada [Anderson e Krathwohl 2001].

7. Conclusões

Apresentamos neste artigo a aplicação do método de desenvolvimento LODM com elementos de PBL na criação de OA para ensino de Computação para cursos de Engenharia. Além disso, foi realizado um experimento usando o OA criado em turmas de primeiros e segundos períodos dos cursos de Engenharia no Câmpus Campo Mourão da UTFPR. Foram aplicadas duas unidades instrucionais, seguindo etapas planejadas, em que os produtos finais, relatórios parciais e finais e respostas do questionários provêm indícios de que o modelo aperfeiçoado ao LODM e a metodologia PBL colaboram para o estímulo e melhora no entendimento dos objetivos educacionais propostos.

Analisando-se o desenvolvimento do objeto de aprendizagem, observou-se que o método auxiliou satisfatoriamente no entendimento das características e requisitos de PBL para criação e aplicação de objetos de aprendizagem. A criação de elementos no LODM para representar PBL foi uma das atividades importantes para o entendimento do método e para a criação de OA's completos e robustos, que atendam os fins educacionais das disciplinas de Computação e conseqüentemente do curso como um todo.

Como trabalhos futuros, planejamos desenvolver outros OA com PBL com o método utilizado neste trabalho, analisando tanto a qualidade do objeto gerado quanto o esforço necessário para seu desenvolvimento. Estes novos estudos permitirão a comparação dos resultados com técnicas tradicionais de desenvolvimento de OA, viabilizando a avaliação da eficácia e da eficiência do método e dos OA gerados.

Referências

- Albright, P. (2005). Open educational resources final forum report. Technical report, UNESCO, Paris, França. Internet Discussion Forum: Open Educational Resources - Open Content for Higher Education.
- Anderson, L. W. e Krathwohl, D. R., editors (2001). *A Taxonomy for Learning, Teaching, and Assessing: A Revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives*. Longman, New York, NY, EUA.
- Araújo, D. d. C. a., Rodrigues, A. N., de Araújo Silva, C. V., e Soares, L. S. (2015). O ensino de computação na educação básica apoiado por problemas: Práticas de licenciandos em computação. In: *XXXV Congresso da Sociedade Brasileira de Computação – XXIII WEI - Workshop sobre Educação em Computação*, Recife, PE, Brasil. SBC.

- Barbosa, E. F. e Maldonado, J. C. (2011). IMA-CID: an integrated modeling approach for developing educational modules. *Journal of the Brazilian Computer Society*, 17(4):207–239.
- Bosse, Y. e Gerosa, M. A. (2015). As disciplinas de introdução à programação na USP: um estudo preliminar. In: *XXXV Congresso da Sociedade Brasileira de Computação – XXIII WEI - Workshop sobre Educação em Computação*, p. 1389–1397, Recife, PE, Brasil. SBC.
- Brauner, D., Margreff, P., Tavares, T., da Costa, V. K., e Silva, A. L. (2016). Estímulo à prática multidisciplinar no ensino de computação e design através de um evento de programação focado em problemas. In: *XXXVI Congresso da Sociedade Brasileira de Computação – XXIV WEI - Workshop sobre Educação em Computação*, p. 2126–2135, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- Gil, A. C. (2015). *Didática do Ensino Superior*. Atlas, São Paulo, SP, Brasil.
- Graciotto Silva, M. A. (2012). *LOD: uma abordagem para desenvolvimento de objetos de aprendizagem multimídias e interativos*. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, Brasil.
- Graciotto Silva, M. A., Barbosa, E. F., e Maldonado, J. C. (2011). Model-driven development of learning objects. In: *41st ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference*, p. F4E–1–F4E–6, Rapid City, South Dakota, EUA. IEEE.
- Mahadevan-Jansen, A., Rowe, C. J., Crocetti, J., e Brophy, S. (2003). A paradigm shift in the approach to freshman engineering education. In: *ASEE 2003 Annual Conference*, p. 11570–11585, Nashville, Tennessee, EUA. ASEE.
- Mamede, S. (2001). Aprendizagem baseada em problemas: Características, processos e racionalidade. In: *Aprendizagem baseada em problemas: anatomia de uma abordagem educacional*, cap. 2, p. 27–48. Hucitec, Fortaleza, CE, Brasil.
- Novak, J. D. (1977). *A theory of education*. Cornell University Press, Ithaca, NY, EUA.
- Ribeiro, L. R. d. C. (2008). *Aprendizagem baseada em problemas (PBL): uma experiência no ensino superior*. EdUFSCar, São Carlos, SP, Brasil, 1 ed.
- Silva, F. Z. N. e Borges, M. A. F. (2016). PBL e robótica no ensino de conceitos de lógica de programação. In: *XXXVI Congresso da Sociedade Brasileira de Computação – XXIV WEI - Workshop sobre Educação em Computação*, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- Sun, L., Kindy, M., Liron, C., Grant, C. D., e Waterhouse, S. A. (2012). Hybrid course design: Leading a new direction in learning programming languages. In: *119th ASEE Annual Conference and Exposition*, p. 1–13, San Antonio, TX, EUA. ASEE.
- Wiley, D. A. (2000). *Learning Object Design and Sequencing Theory*. Tese de Doutorado, Department of Instructional Psychology and Technology – Brigham Young University, Provo, Utah, EUA.
- Zachary, J. L. (1996). Introduction to computing for engineers: New approaches to content and pedagogy. In: *26th Annual Conference on Frontiers in Education*, p. 149–153, Piscataway, NJ, EUA. IEEE.

Projeto Aprenda a Programar Jogando: Divulgando a Programação de Computadores para Crianças e Jovens

Julia Godinho, Kathleen Torres, Gabriel Batista,
Eduardo Andrade, Janaína Gomide

¹Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) - Campus Macaé
Macaé – RJ – Brazil

{juliagodinho08, kathleent48, edu.gabriel23, gab.batista.10}@gmail.com,
janainagomide@macae.ufrj.br

Abstract. *This article introduces the research project Learn How to Program Playing and the experience resulting from the activities developed in it. The project aims to introduce the universe of computer programming to children and young people and encourage them to become technology creators. This article presents the tools selected for the teaching of programming, the structure of activities carried out both in the workshops and the mini courses and the plan of activities carried out in the mini courses. This project has already benefited 298 students and approximately 90% rated the programming experience as excellent or great. In 2016, this project was recognized by the Brazilian Society of Computation (SBC).*

Resumo. *Este artigo apresenta o projeto Aprenda a Programar Jogando e a experiência resultante das atividades nele desenvolvidas. O projeto visa introduzir o universo da programação computacional a crianças e jovens e incentivá-los a serem criadores de tecnologia. Nesse artigo são apresentadas as ferramentas selecionadas para o ensino da programação, a estrutura de atividades realizadas tanto nas oficinas quanto nos minicursos e o plano de atividades realizados nos minicursos. Esse projeto já beneficiou 298 estudantes e aproximadamente 90% qualificaram a experiência com a programação como excelente ou ótima. Em 2016, o projeto recebeu Chancela da Sociedade Brasileira de Computação (SBC).*

1. Introdução

É cada vez mais comum o uso de tecnologias computacionais no dia a dia dos brasileiros, nas mais diversas atividades e finalidades, tais como no acesso a informação, na comunicação, no entretenimento ou em ferramentas de trabalho. Entretanto, a maioria das pessoas são ainda apenas usuários de softwares e aplicativos através de seus computadores e celulares, possuem habilidades para utilizá-los, mas não compreendem como são desenvolvidos e como funcionam.

No Brasil, o ensino da programação ainda é bastante restrito às universidades. A partir da observação desse cenário, que o projeto Aprenda a Programar Jogando foi elaborado, com objetivo de difundir o estudo da programação. O projeto visa levar aos alunos

do ensino fundamental e médio de Macaé e região a oportunidade de ter o primeiro contato com a programação computacional, promovendo o entendimento básico do processo da criação de programas e aplicativos e o desenvolvimento do raciocínio lógico.

O conhecimento adquirido com a programação vai além de criar jogos, websites e sistemas. Quem entra em contato com esse universo desenvolve habilidade para resolução de problemas, criatividade e trabalho em equipe. Outros benefícios ligados ao domínio da programação é ajudar a organizar ideias, pensamentos e objetivos de vida [Wing 2006]. Nesse contexto, o ensino de conceitos de programação ainda na educação básica pode ser um grande facilitador para o processo de aprendizagem. Em particular, programação estimula o “pensamento computacional”, ajudando na criação de soluções de problemas e desenvolvimento de estratégias, que possui utilidade além da área da ciência da computação [Resnick 2009].

As atividades oferecidas pelo projeto são oficinas e minicursos que utilizam ferramentas gratuitas disponíveis e previamente selecionadas pela equipe do projeto. A equipe do projeto é composta de alunos do curso de Engenharia Mecânica, Civil e Produção da UFRJ-Macaé e coordenados pela professora da área de Ciência da Computação. Em 2016, o projeto recebeu Chancela da Sociedade Brasileira de Computação (SBC)¹ e todas as informações das atividades e tutoriais realizados estão disponíveis no site do projeto².

O objetivo desse artigo é apresentar a estrutura de ensino elaborada no projeto e relatar a experiência obtida ao longo das atividades realizadas, de forma que possam ser replicadas e realizadas em outras instituições e escolas. As principais contribuições desse artigo contemplam a apresentação das ferramentas selecionadas para o ensino da programação para crianças e jovens, o desenvolvimento de uma estrutura de atividades a serem realizadas tanto nas oficinas quanto nas aulas dos minicursos e o desenvolvimento do plano de atividades a ser realizado nos minicursos para crianças e jovens.

O projeto já atingiu 298 crianças e jovens dos quais mais de 80% não sabiam como um programa de computador era feito e 100% não conheciam o que era ciência da computação ou linguagem de programação. Praticamente todos os alunos classificaram a experiência com a programação como sendo excelente ou ótima e indicariam as atividades para alguém.

2. Trabalhos Relacionados

Várias iniciativas têm sido realizadas no Brasil com o objetivo de difundir o aprendizado da computação, com o foco em diversos públicos, principalmente jovens.

O Programa Meninas Digitais, da Sociedade Brasileira da Computação (SBC), tem como objetivo divulgar a área de Computação para despertar o interesse de estudantes do ensino médio/tecnológico para que conheçam melhor a área e motivá-las a seguir carreira em Computação. O programa atua de diferentes formas: minicursos e oficinas; palestras com estudantes e profissionais que já atuam na área, dentre outros [SBC 2015]. Outro projeto com foco no público feminino é apresentado em [Ramos 2015] em que é apresentado um relato de experiência com alunas do ensino médio de uma escola estadual

¹A chancela foi concedida para projetos que levem a computação até crianças, adolescentes e públicos que não tem contato com a área de computação aproximando a computação da sociedade brasileira.

²Link para o site do projeto: <https://sites.google.com/site/projetoaprendaprogramar/>

e é utilizada a plataforma MIT App Inventor em suas atividades.

No artigo [Oliveira 2014] é relatada experiência de um grupo de extensão no ensino de conceitos básicos da ciência da computação feita com 11 alunos do ensino fundamental usando Scratch. Já em [França 2014] diversas ações de divulgação foram realizadas como participação em feiras de profissões, matérias para rádios e jornais locais, e visitas em escolas públicas e privadas. As atividades desse trabalho contemplam o ensino de número binários, uso do Scratch e ensino de robótica.

Uma experiência interessante relatada em [Silva 2016], propôs uma abordagem intitulada Saberes D'Avó, em que os alunos são colocados em contato com avós, em um minicurso, para discutir sobre saberes regionais e, por meio de um treinamento, criam aplicativos do tipo quiz na plataforma MIT App Inventor. A experiência foi feita com 16 alunos do ensino médio e o caráter lúdico da ferramenta proporcionou um ambiente confortável para tratar de assuntos complexos.

Em uma análise diferente do uso de jogos educacionais [Jakos 2016] afirma que o uso de jogos apropriados pode gerar um melhora no raciocínio lógico, na capacidade de aprendizado e no conhecimento de estudantes, que pode ser significativa o suficiente para permitir que os professores usem outras ferramentas de ensino, com complexidade superior aos métodos tradicionais. O estudo foi realizado com a implementação de jogos educacionais para o ensino de conhecimentos da computação feito com 107 alunos do sexta série.

O Projeto Aprenda a Programar Jogando se diferencia dos demais quanto a quantidade e tipo de ferramentas utilizadas e pelo plano estruturado de aulas para a utilização dessa ferramentas, que permite o beneficiamento de um grande público e de forma contínua. Também se diferencia quanto ao público, pois a metodologia proposta foi adequadamente elaborada para o ensino simultâneo de crianças e jovens, enquanto os trabalhos descritos anteriormente são para crianças ou jovens, independentemente. Por fim, o Projeto se diferencia por sua abrangência e capacidade de atingir um grande público.

3. Público Alvo

O público alvo do projeto Aprenda a Programar Jogando contempla crianças e jovens de diferentes idades, compreendendo desde o ensino fundamental ao ensino médio, em escolas públicas e privadas. O projeto, no entanto, não é restrito a esse público, e quando oportuno, é perfeitamente aplicável a participação de pessoas de outras faixas etárias.

4. Ferramentas Utilizadas

Há uma ampla variedade de ferramentas disponíveis para o ensino da programação e fizemos uma seleção que priorizou os seguintes critérios: conceitos de programação básicos abordados (comandos de condição e repetição), disponibilidade na língua portuguesa e acesso gratuito. As ferramentas escolhidas foram:

- Hour of Code³: essa ferramenta possui o diferencial de estimular os alunos por meio de personagens conhecidos, por exemplo Minecraft, Frozen e Star Wars, e ao longo da atividade apresenta vídeos explicativos sobre os conceitos de programação como comandos de repetição e condicionais.

³<https://code.org/learn>

- Scratch⁴: plataforma onde os usuários podem criar suas histórias, jogos e animações, unindo blocos de comando de forma lógica. Estimula os alunos a explorarem sua criatividade e usa comandos de: condição, repetição, movimento, som, desenho, variáveis, sensores, operadores lógicos, entre outros.
- CodeMonkey⁵: jogo educativo onde os alunos aprendem a criar códigos em uma linguagem de programação real, chamada CoffeeScript, sem necessitar conhecimentos prévios. O tutorial usado pelo projeto é a versão gratuita que aborda: condicionais, repetição, funções e variáveis.
- Monster Coding⁶: neste jogo o usuário pode criar seu próprio personagem e guiá-lo usando blocos de comando. São explorados nesta plataforma: booleanos, matrizes, condicionais e repetição.
- MIT App Inventor⁷: plataforma de introdução a programação e criação de aplicativos para Android por meio de blocos de comando. Após montar o layout e a programação do aplicativo, o aluno pode testar sua criação em um emulador de computador ou no próprio dispositivo Android. Alguns dos conceitos abordados são: condicionais, funções, operadores lógicos, repetição, variáveis.

5. Estrutura das atividades

A estrutura de atividade que é seguida tanto nos minicursos, que contemplam vários encontros, como em oficinas, que possuem aproximadamente duas horas de duração.

Cada aula dos minicursos ou oficinas tem caráter teórico-prático, que se inicia com uma introdução teórica dos conceitos de programação, e segue com a explicação sobre a atividade a ser realizada. Dessa forma os conceitos de programação são conhecidos previamente e exemplificados ao longo da experiência com a atividade. A estrutura das atividades é dividida em quatro etapas conforme ilustrado na Figura 1.

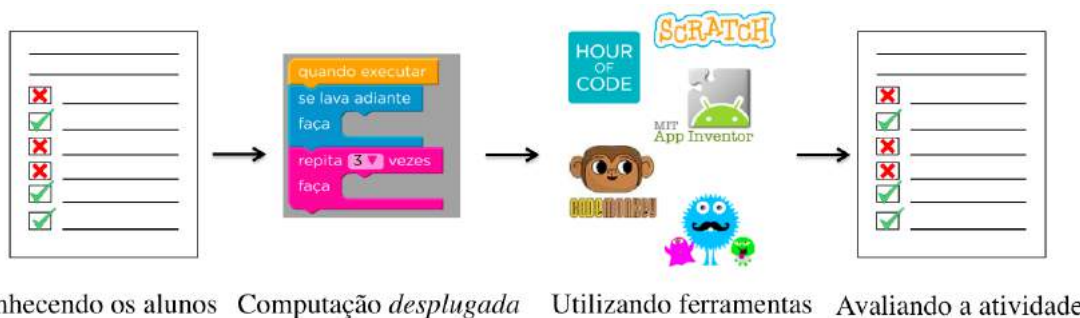


Figure 1. Estrutura das atividades.

As atividades começam com uma conversa inicial para conhecer as expectativas da turma e logo em seguida os participantes respondem um questionário com perguntas sobre idade, alguns conceitos de computação e programação e o que esperam da atividade. Chamamos essa etapa de *Conhecendo os alunos*.

⁴<https://scratch.mit.edu/>

⁵<https://www.playcodemonkey.com/>

⁶<http://monstercoding.com/>

⁷<http://appinventor.mit.edu/explore/>

A etapa *Computação desplugada* tem como objetivo introduzir conceitos aos alunos. No início dos minicursos o conceito de algoritmo é apresentado e é realizada uma dinâmica em que eles são levados a controlar os movimentos de uma pessoa vendada, usando uma sequência de instruções verbais simples. Os outros conceitos (variáveis, comandos de condição e repetição, dentre outros) são apresentados quando utilizados pelas ferramentas.

A próxima etapa é a *Utilizando as Ferramentas* e as plataformas selecionadas são exploradas da seguinte forma:

- Criando Animações: a animação consiste em criar os movimentos de uma personagem. Utilizando o Scratch, os alunos possuem diversas possibilidades de personagens, planos de fundo e movimentos que podem ser utilizados.
- Jogando e aprendendo: nas ferramentas Hour of Code, Monster Coding e Code-Monkey os alunos são instruídos a concluir os tutoriais que proporcionam o entendimento da funcionalidade dos conceitos na solução de uma tarefa.
- Criando Jogos: o professor mostra um exemplo aos alunos e ensina sobre os comandos e conceitos. Os alunos são estimulados a desenvolverem seus próprios jogos personalizando e explorando novos comandos, personagens e figuras.
- Criando aplicativos: A turma é instruída como desenvolver o layout e o código do aplicativo na plataforma MIT App Inventor. A plataforma dispõe de inúmeros tutoriais, onde essa equipe se inspirou ao desenvolver os tutoriais usados em aula.

A última etapa *Avaliando das atividades* é realizada após o uso das ferramentas e é aplicado um questionário perguntando sobre o nível de dificuldade e satisfação de forma geral. Sendo essa, uma oportunidade de os participantes expressarem suas opiniões e sugestões para o projeto.

6. Relatos de Experiência e Avaliação das Atividades

Nesta seção serão apresentados as oficinas e minicursos realizados e os resultados dos questionários respondidos. As atividades foram planejadas de forma que pudessem ser trabalhadas em oficinas e minicursos. As oficinas são realizadas em eventos de divulgação científica organizados pela UFRJ-Macaé e pela Fundação Educacional de Macaé (Funemac). A duração das oficinas é de aproximadamente duas horas e envolve um público diversificado. Já os minicursos são oferecidos na equipe do projeto na UFRJ-Macaé e em escolas parceiras. A duração dos minicursos varia de sete a dezesseis horas distribuídos ao longo de vários encontros.

6.1. Oficinas

Na tabela 1, temos a relação das oficinas, ferramentas utilizadas, faixa etária dos participantes de cada oficina e quantidade de participantes. Foram realizadas um total de quatro oficinas todas com ajuda de divulgação da UFRJ-Macaé e conseguimos atingir uma ampla faixa etária, desde os 10 aos 44 anos de idade, e um total de 71 participantes.

Nas oficinas realizadas na Semana Nacional de Ciência e Tecnologia (SNCT)⁸ e na Feira do Conhecimento⁹ foram utilizados os tutoriais *Pegue o Android*¹⁰ e *Calcule seu*

⁸SNCT realizada na UFRJ-Macaé

⁹Feira do Conhecimento foi organizada pela Funemac na UFRJ-Macaé

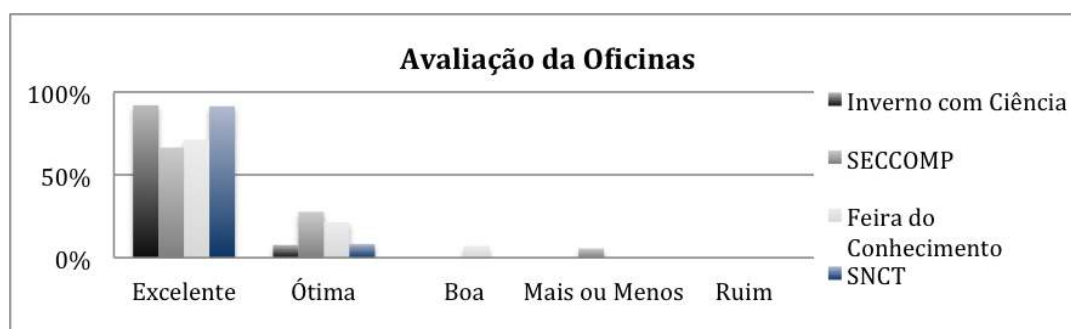
¹⁰<https://sites.google.com/site/projetoaprendaprogramar/tutoriaislinks/pegueandroid>

Table 1. Oficinas realizadas.

Evento	Oficina	Ferramenta	Faixa etária	# alunos
Inverno com Ciência	Aprenda a Programar Jogando	Hour of Code	Todas	25
SNCT	Aprenda a Programar seu Primeiro App Android	MIT App Inventor	Jovens	24
Feira do Conhecimento	Aprenda a Programar seu Primeiro App Android	MIT App Inventor	Jovens	12
SECCOMP	Hour of Code	Hour of Code	Todas	10

*IMC*¹¹ realizados na ferramenta MIT App Inventor. Esses tutoriais foram desenvolvidos pela equipe do projeto considerando a duração e o público do evento e estão disponíveis online no website do projeto. Já nas oficinas realizadas durante o Inverno com Ciência¹² e Semana de Educação em Ciência da Computação (SECCOMP)¹³ foi utilizada a ferramenta Hour of Code e os participantes podiam escolher qual tutorial disponível mais os interessavam. O tutorial Minecraft foi escolhido por 53,8% dos participantes.

Foi a primeira vez que esses 71 participantes tiveram contato com a programação de computadores e após utilizarem a ferramenta no dia da oficina 100% dos participantes afirmaram que a atividade auxilia na compreensão dos conceitos de programação e recomendariam a oficina para alguém. Além disso, 100% dos participantes também disseram ter interesse em aprender mais sobre a programação. Os participantes classificaram a sua experiência na oficina em uma escala que variando entre excelente e ruim e o resultado está na Figura 2. Como podemos observar aproximadamente 90% dos participantes do Inverno com Ciência e da SNCT classificaram como excelente e 90% dos participantes da SECCOMP e da Feira do Conhecimento classificaram como excelente ou ótima. Nenhum participante classifcou como sendo uma experiência ruim.

**Figure 2. Avaliação das oficinas feitas pelos alunos participantes.**

¹¹<https://sites.google.com/site/projetoaprendaprogramar/tutoriaislinks/imc>

¹²Inverno com Ciência foi organizado e realizado na UFRJ-Macaé.

¹³SECCOMP foi realizada na UFRJ-Macaé.

Table 2. Oficinas realizadas.

Turmas	Escola	Faixa Etária	# alunos	Carga Horária
Turma I	Colégio A	Crianças	167	7h
Turma II	Colégio B	Jovens	35	16h
Turma III	Colégio B e C	Jovens	25	8h

6.2. Minicursos

Os minicursos foram oferecidos em três escolas de Macaé. Sendo que, no colégio A foi realizado com crianças do ensino fundamental e os colégios B e C as atividades foram desenvolvidas com alunos do ensino médio. Cerca de 227 alunos participaram dos minicursos oferecidas pelo projeto. Na tabela 2 temos a relação das turmas de minicursos e seus participantes.

Dividimos o planejamento considerando a faixa etária: classes infantis e classes juvenis. A principal diferença é como as ferramentas são exploradas em cada classe, onde a infantil possui ênfase na criação de jogos e animações usando programação em bloco. Por outro lado, a classe juvenil tem ênfase na criação de aplicativos para Android, tendo a introdução a programação criando animações e jogos.

Para os integrantes do colégio A a duração do curso foi definida em acordo com a disponibilidade da escola parceira que ofertou o laboratório de informática para os encontros quinzenais durante três meses. Foram realizadas um total de oito turmas contemplando 167 alunos. Para fins de explicação e avaliação chamaremos as oito turmas de Turma I, sem perda de generalidade. Nas classes infantis, a meta foi apresentar a área da programação, suas utilidades e conceitos básicos, de forma lúdica e divertida. A programação das atividades das aulas da Turma I foi:

- Scratch - *Anime seu Nome*: os alunos se familiarizam com a ferramenta utilizando comando básicos para criar uma simples animação com as letras de seus nomes.
- Monster Coding: realizando este tutorial auto guiado, os alunos aprendem sobre booleanos, condicionais e repetição.
- Hour of Code: os alunos escolhem entre os tutoriais: Frozen, Star Wars e Minecraft. Onde aprendem a funcionalidade dos comandos de repetição e condição.
- Scratch - *Hide and Seek*: inspirado no tutorial disponível no site do Scratch, os alunos usam comandos de repetição para criar um jogo de esconde-esconde com comandos de repetição, condicionais e outros.
- Code Monkey: já familiarizados com os blocos e princípios da programação, os alunos são apresentados a programação escrita através deste jogo educativo.
- Scratch - *Jogo Pegue o Gato*: esse jogo desenvolvido pela equipe, onde um gato guiado pelo mouse do computador, deve capturar todos os ratos. Este tutorial utiliza os conceitos: variáveis, condição, repetição e operadores lógicos.

Dos participantes dos minicursos oferecidos 82% não sabiam como um programa de computador era feito e nunca tinham ouvido falar em programação de computadores e ciência da computação. No final do minicurso ao responder a avaliação final 80,3% dos alunos disseram ter interesse em aprender mais sobre ciência da computação.

Os participantes avaliaram também o nível de dificuldade das ferramentas. Na Figura 3 podemos observar que as ferramentas Hour Of Code e Scratch foram classificados como nível médio pela maioria dos alunos. Já as ferramentas Monster Coding e CodeMonkey foram classificados como muito fácil pela maioria dos alunos. Uma pequena parcela dos alunos, menos de 5% acharam as ferramentas com nível muito difícil.

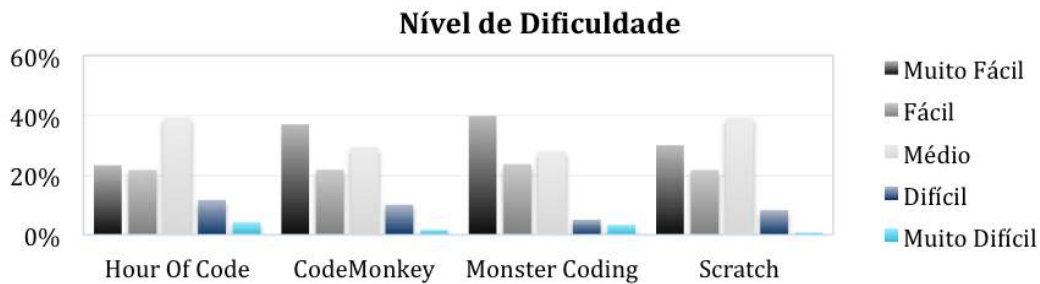


Figure 3. Avaliação do nível de dificuldade realizada pela Turma I

As ferramentas preferidas, Figura 4, foram CodeMonkey, Hour of Code e Scratch, nessa ordem. A que foi menos votada como favorita foi a Monster Coding. Interessante observar que Hour of Code e Scratch foram consideradas ferramentas de nível médio pelos alunos e mesmo assim foram favoritas. A ferramenta Code Monkey, que foi escolhida como favorita por mais de 50 alunos, utiliza nas tarefas a programação escrita e foi muito bem aceita pelos alunos que demonstraram entendimento sobre a estrutura dos códigos.

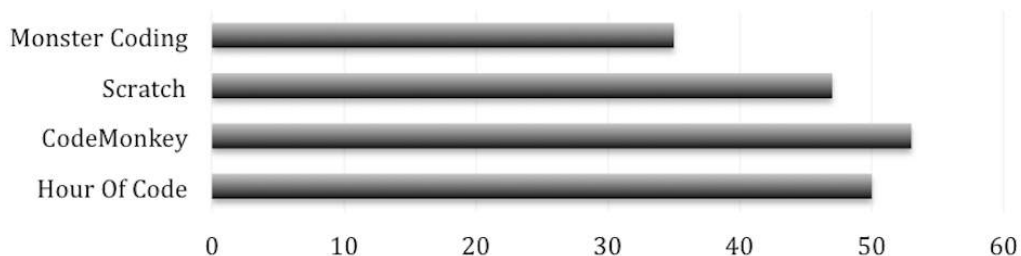


Figure 4. Ferramentas preferidas pela Turma I

Em relação as classes juvenis, os minicursos foram divulgados pelos participantes do projeto nas salas de aula dos colégios B e C. Porém, estas escolas não possuem laboratório de informática, então as aulas ocorreram nos laboratórios da UFRJ-Macaé e alunos de outras instituições integraram-se ao projeto. Nas Turmas II e III o nosso objetivo foi apresentar a programação de computadores ao utilizar as ferramentas e habilitar os participantes a criarem seu próprio aplicativo para Android. A programação das aulas da classe juvenil é:

- Scratch - *Anime seu nome*: a mesma aula introdutória dada nas classes infantis.
- Scratch - *Jogo de Coletar*: na criação desde jogo de coletar, os alunos utilizam conhecimentos de comandos de repetição, de condição e variáveis.
- Hour of Code: os alunos escolhem entre os tutorias disponíveis.

- MIT App Inventor - *Talk To Me*¹⁴ criação um aplicativo simples onde o celular reproduz o texto digitado pelo usuário. São usados nesta atividade: variáveis e recursos de caixa de texto e texto para falar.
- MIT App Inventor - *Calcule seu IMC*: usando comando condicionais e variáveis, os alunos criam um aplicativo onde o usuário pode calcular o seu IMC. São usados: condicionais, variáveis, operadores lógicos e recursos de caixa de texto.
- MIT App Inventor - *Einstein Responde*¹⁵ o usuário faz uma pergunta ao Albert Einstein, e ao sacudir o dispositivo, obtêm uma resposta. Ao desenvolver esse tutorial, o aluno entende o funcionamento de uma lista.
- MIT App Inventor - *Pegue o Android*: criação do jogo aonde aparece um bonequinho e o usuário ganha pontos quando consegue clicar. São usados conceitos de: variáveis, condicionais, repetição, operadores lógicos.
- MIT App Inventor - Crie seu aplicativo: os alunos devem criar seu próprio aplicativo. O aluno deve usar a criatividade para pensar em um tema, planejar as telas do aplicativo e pôr em prática os conhecimentos obtidos no curso.

A última etapa, Crie seu aplicativo, só foi possível realizar com a Turma II pois na turma III a carga horária foi reduzida e os alunos não puderam realizar essa atividade. Contudo, os alunos foram instruídos como desenvolver seu próprio aplicativo e os exemplos da Turma II foram mostrados.

Através dos questionários iniciais feitos nas turmas juvenis, foi constatado que mais de 50% dos alunos nunca tinha ouvido falar em ciência da computação e mais de 70% não sabia como um programa de computador é feito. Estes dados evidenciam a importância da implementação da programação nas escolas e as novas oportunidades que iniciativas como esta proporcionam. Além de mostrar para esses jovens uma possibilidade de carreira profissional.

Algumas atividades da ferramenta Scratch e Hour of Code foram realizadas tanto nas turmas infantis e juvenis e apesar da diferença de idade dos participantes não houve dificuldade dos mais novos em realizar as atividades. Pelo contrário, algumas crianças, mais entusiasmadas, realizaram a atividade com extrema eficiência.

A Figura 5 mostra um dos resultados do questionário, onde os alunos das Turmas I, II e III classificaram a sua experiência no minicurso. O resultado das Turmas II e III encontram-se juntos. Quase 100% dos jovens classificaram o minicurso como excelente e mais de 50% das crianças.

7. Considerações Finais

Esse artigo apresentou as atividades realizadas pelo projeto Aprenda a Programar Jogando cujo objetivo é introduzir o conhecimento da programação de computadores a crianças e jovens. O projeto realizou oficinas e minicursos, e apresenta como contribuições a seleção de ferramentas disponíveis gratuitas online, a criação de uma estrutura de atividades que podem ser utilizadas tanto na realização das oficinas quanto na realização dos minicursos e um plano de aulas para ser utilizado em classes infantis e juvenis.

A seleção de ferramentas amigáveis, que utilizam temas e personagens conhecidos como Star Wars, Minecraft e Frozen para o desenvolvimento da didática proposta, foi

¹⁴<https://sites.google.com/site/projetoaprendaprogramar/tutoriaislinks/talk-to-me>

¹⁵<https://sites.google.com/site/projetoaprendaprogramar/tutoriaislinks/einstein-responde>



Figure 5. Nível de satisfação do minicurso pelas Turmas I, II e III

um fator relevante para o sucesso do projeto. Foi fundamental para incentivar os alunos a participarem das atividades, assim como para mantê-los motivados. Dessa forma, experiência resultou em um processo de aprendizado eficiente e prazeroso dos conceitos básicos de programação e algoritmos. Praticamente todos os 298 alunos que participaram das oficinas e atividades nunca haviam ouvido falar em ciência da computação e em programação de computadores e ao realizar a atividade, aproximadamente 90% dos participantes classificaram a experiência como sendo excelente ou ótima.

As ferramentas Scratch e Hour of Code foram utilizadas tanto nas turmas infantis e juvenis e, apesar da diferença de idade dos participantes, não houve dificuldade dos mais novos em realizar as atividades. Todos foram capazes de realizá-las, e inclusive, algumas crianças com pouca idade, mas com maior afinidade pelo assunto, realizaram a atividade com surpreendente eficiência. A proposta de criar aplicativos incentivou os jovens a participarem dos minicursos e diversos aplicativos foram desenvolvidos com foco em diferentes conceitos de programação. De modo geral, após o aluno ser introduzido à ferramenta o desenvolvimento é similar.

Referências

- França, R. et al. (2014). A disseminação do pensamento computacional na educação básica. XXII Workshop sobre Educação em Computação (WEI)
- Jakos, F., Verber, D. (2016). Learning Basic Programming Skills With Educational Games: A Case of Primary Schools in Slovenia. *Journal of Educational Computing*.
- Oliveira, M. et al. (2014). Ensino de lógica de programação no ensino fundamental utilizando o Scratch. XXII Workshop sobre Educação em Computação (WEI).
- Ramos, N. et al. (2015). Ensino de Programação para Alunas de Ensino Médio: Relato de uma Experiência. XXIII Workshop sobre Educação em Computação (WEI).
- Resnick, M. et al. (2009). Scratch: programming for all. *Communications of the ACM*, v. 52, n. 11, p. 60-67.
- SBC. (2015) Programa Meninas Digitais. Sociedade Brasileira de Computação. Disponível em: www.sbc.org.br. Acesso em: fevereiro/2017.
- Silva, L., Carvalho, D. (2016). Saberes D'Avó: Uma Abordagem para o Ensino de Programação no Ensino Médio. XXII Workshop de Informática na Escola (WIE).
- Wing, J. M. (2006). Computational thinking. *Communications of ACM* 49, 3, 33-35.

Contribuições da Extensão Universitária na formação social, acadêmica e profissional dos estudantes de Computação

Juliana Maria Oliveira dos Santos, Cíntia Mercês Souza, Taiala Almeida Santos, Pietro Matheus Bompert Fontoura Alves, Débora Abdalla Santos

Departamento de Ciência da Computação – Universidade Federal da Bahia (UFBA)
Grupo de Pesquisa e Extensão em Informática, Educação e Sociedade – Onda Digital
Av. Adhemar de Barros, s/n – Ondina – CEP 40.170-110 – Salvador – BA – Brasil

✉ulms. ✉✉cintiamercess ✉taiala ✉✉pietrobompert ✉✉gmail.com ✉abdalla ✉uba.br

Abstract. *The extension activities at the university, contributes to operationalize the transforming relationship between university and society. The Ação Curricular em Comunidade e em Sociedade (ACCS) has been fulfilling this role, developing extension actions, promoting the exchange, reworking and production of knowledge on computing and society. This article presents the methodologies used for the development of ACCS: Onda Solidária de Inclusão Digital - Tecnologia a Serviço da Cidadania and discusses the impact of this action on social, academic and professional of the student of higher education in computing.*

Resumo. *A extensão, um dos pilares da Universidade, contribui para operacionalizar a relação transformadora entre Universidade e Sociedade. A Ação Curricular em Comunidade e em Sociedade (ACCS) vem cumprindo este papel, desenvolvendo ações de extensão, promovendo o intercâmbio, a reelaboração e a produção de conhecimento sobre a computação e sociedade. Este artigo apresenta as metodologias utilizadas para o desenvolvimento da ACCS: Onda Solidária de Inclusão Digital - Tecnologia a Serviço da Cidadania, bem como discute os impactos desta ação na formação social, acadêmica e profissional do estudante de ensino superior na área de computação.*

1. Introdução

A Extensão Universitária é entendida como “processo acadêmico definido e efetivado em função das exigências da realidade, além de indispensável na formação do estudante, na qualificação do professor e no intercâmbio com a sociedade” [FORPROEX, 2012, p. 05]. As Diretrizes Curriculares de cursos da área de Computação e Informática estabelecem que “no contexto de uma formação superior, há que se considerar a importância de currículos que possam, efetivamente, preparar pessoas críticas, ativas e cada vez mais conscientes dos seus papéis sociais e da sua contribuição no avanço científico e tecnológico do país” [Brasil, 1999]. Porém, na prática, muitos currículos atuais ainda focam em conteúdos predominantemente técnicos e científicos, apesar das responsabilidades organizacionais e culturais que cercam todo profissional, com destaque aqui o profissional de computação que cria aplicações e artefatos que atingem direta ou indiretamente a sociedade, conforme aponta [Jonathan, 2016].

A compreensão acerca do papel das ações extensionistas foi fortalecida, no âmbito da Universidade Federal da Bahia (UFBA), desde 1997, quando da criação do

Programa UFBA em Campo, atualmente denominado Ação Curricular em Comunidade e em Sociedade (ACCS), iniciativa pioneira nas universidades, que constitui uma experiência de aproximar estudantes e professores da UFBA com grupos da sociedade, desenvolvendo ações de extensão no âmbito da criação, tecnologia e inovação, promovendo o intercâmbio, a reelaboração e a produção de conhecimento sobre a realidade com perspectiva de transformação. Desenvolvem-se numa perspectiva dialética e dialógica, participativa e compartilhada por intermédio de intervenções em comunidades e sociedades, na busca de alternativas para o enfrentamento de problemáticas que emergem na realidade contemporânea. [Pró-Reitoria de Extensão, 2017].

De acordo com a Resolução nº 01/2013 que regulamenta o aproveitamento da ACCS para integralização curricular dos Cursos de Graduação e Pós-Graduação da UFBA, a ACCS é um “componente curricular, modalidade disciplina, que deve assegurar a multidisciplinaridade, a interdisciplinaridade e a transdisciplinaridade pela relação dialética e dialógica entre diferentes campos dos saberes e fazeres necessários para atuação em comunidade e sociedade” [UFBA, 2013, p.1].

O Departamento de Ciência da Computação (DCC) da UFBA, reconhecendo a extensão como uma atividade que possibilita aos seus participantes a descoberta de habilidades e competências, o desenvolvimento técnico e científico e a tomada de consciência social e cidadã, oferece regularmente desde 2009, a ACCS MATC53 - Onda Solidária de Inclusão Digital - Tecnologia a Serviço da Cidadania que permite aos estudantes dos cursos de computação, que possuem predominância de componentes curriculares com conteúdos técnicos, quebrar as friezas do mundo digital, preparando o educando para o exercício da cidadania e proporcionando, assim, uma formação profissional integral, atentando para o seu papel social e permeando diversas áreas do conhecimento. Atualmente, a ACCS apoia as atividades do programa permanente de extensão Onda Digital, onde os estudantes universitários atuam como instrutores em capacitações para o uso das Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação (TDIC), intercambiando saberes com diversos setores sociais.

Este artigo propõe apresentar as metodologias utilizadas para o desenvolvimento desta atividade, bem como evidenciar os impactos desta na formação social, acadêmica e profissional do estudante de computação e as contribuições que esta atividade provoca nos grupos sociais que são público-alvo. Assim, espera-se contribuir para o ensino da Computação, mostrando novas possibilidades de práticas pedagógicas com articulação interdisciplinar e social na integralização dos currículos de cursos.

O artigo é apresentado da seguinte maneira: a seção 2 descreve a concepção, metodologia e ações desenvolvidas nesta atividade de extensão; a seção 3 descreve os impactos da ação na formação dos estudantes de ensino superior e a seção 4 mostra as conclusões e os trabalhos futuros.

2. Concepções, Metodologia e Ações desenvolvidas

A ACCS Onda Solidária de Inclusão Digital - Tecnologia a Serviço da Cidadania foi criada em 2009 com o objetivo de dar apoio às atividades do Programa Onda Digital, buscando promover a troca de conhecimentos acadêmicos sobre as Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação (TDIC), especialmente no uso do Software Livre, possibilitando aos estudantes o desenvolvimento de competências relacionadas com a

aproximação e interação com a comunidade. O desenvolvimento desta atividade permite que estudantes de graduação sejam instrutores, despertando neles a função de estudantes educadores, promovendo assim aproximação entre Sociedade e Universidade.

O Programa Onda Digital (POD) foi criado em 2004, sob a coordenação do Departamento de Ciência da Computação do Instituto de Matemática e Estatística, como um programa permanente de extensão da Universidade Federal da Bahia e tem por missão contribuir com a inclusão sociodigital na Bahia, envolvendo a Universidade em ações educativas e de difusão do Software Livre.

As ações são planejadas de forma colaborativa, incentivando a interdisciplinaridade com o envolvimento de estudantes da UFBA de diferentes unidades de ensino da universidade, estabelecendo assim uma troca extremamente rica de experiências, conhecimentos e vivências na construção de um saber a serviço de uma sociedade com mais oportunidades. Utilizando-se da metodologia de Pesquisa-Ação [Thiollent, 1985], as ações passam por constantes avaliações e aperfeiçoamentos da prática por todos os seus participantes, provocando eventuais mudanças que trazem benefícios para o processo de construção.

O componente curricular é oferecido semestralmente e são abertas, em média, 20 (vinte) vagas, priorizando-se a participação de estudantes dos seguintes cursos: Ciência da Computação, Sistemas de Informação, Licenciatura em Computação, Engenharia da Computação, Bacharelado Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia, Pedagogia, Serviço Social, Ciências Sociais, Comunicação e Psicologia. Em caso de sobra de vagas, estudantes de outros cursos podem matricular-se no componente.

Utilizamos recursos computacionais que auxiliam a participação de todos nas decisões, elaboração e avaliação de atividades. Inicialmente, nas seis primeiras edições, utilizamos a ferramenta de desenvolvimento colaborativo de conteúdo na web, a Wiki. Atualmente utilizamos o Ambiente Virtual de Aprendizagem (AVA) Moodle para realização do planejamento e registro das ações desenvolvidas na ACCS. Os participantes dos cursos de extensão promovidos pela ACCS também utilizam o AVA Moodle para acesso ao material didático e discussões, sob a condução dos estudantes educadores que utilizam o ambiente com a função de professor.

Os alunos da ACCS participam de um encontro presencial semanal com duração de 2 (duas) horas onde estudantes educadores, coordenadores, monitores e colaboradores discutem os pontos fortes e fracos da ação, como forma de avaliação das atividades executadas na semana anterior, refletindo e melhorando as práticas pedagógicas, priorizado pela dialogicidade.

Ao todo, 204 estudantes já participaram da ACCS. Desse total, tivemos a participação de apenas dois estudantes de pós-graduação (Mestrado em Ciência da Computação), conforme pode ser visto na Figura 1.

Observamos que na quase totalidade dos semestres em que o componente foi oferecido, obteve-se a participação de estudantes de pelo menos 4 (quatro) cursos diferentes, sendo a maior parte deles pertencentes aos cursos relacionados à computação e tecnologia. Durante o ano de 2014 tivemos duas situações atípicas: no primeiro semestre, a transição do modo de matrícula não foi realizado como previsto e muitos alunos não conseguiram matricular-se; já no segundo semestre por um erro no sistema de matrícula foram ofertadas 40 vagas, o dobro do módulo do componente curricular.

Embora o componente curricular apresente um histórico diversificado de perfis de alunos com base nos cursos dos alunos matriculados, o número de 204 alunos não necessariamente trata-se de alunos diferentes, visto que é possível matricular-se mais de um semestre neste componente curricular. No entanto, a cada semestre existem propostas de atividades diferentes, estruturadas na sala de aula e executadas em parceria com a comunidade. Desta forma, cada edição proporciona aos seus participantes experiências novas, por vezes em novos espaços, dando oportunidades diversas de crescimento pessoal, profissional e acadêmico. Partindo do fato que as atividades são pensadas de acordo com a disponibilidade e possibilidade de contribuição segundo o perfil de cada participante, então ainda que seja no mesmo local, as contribuições sempre serão diferentes e em uma via de mão dupla.

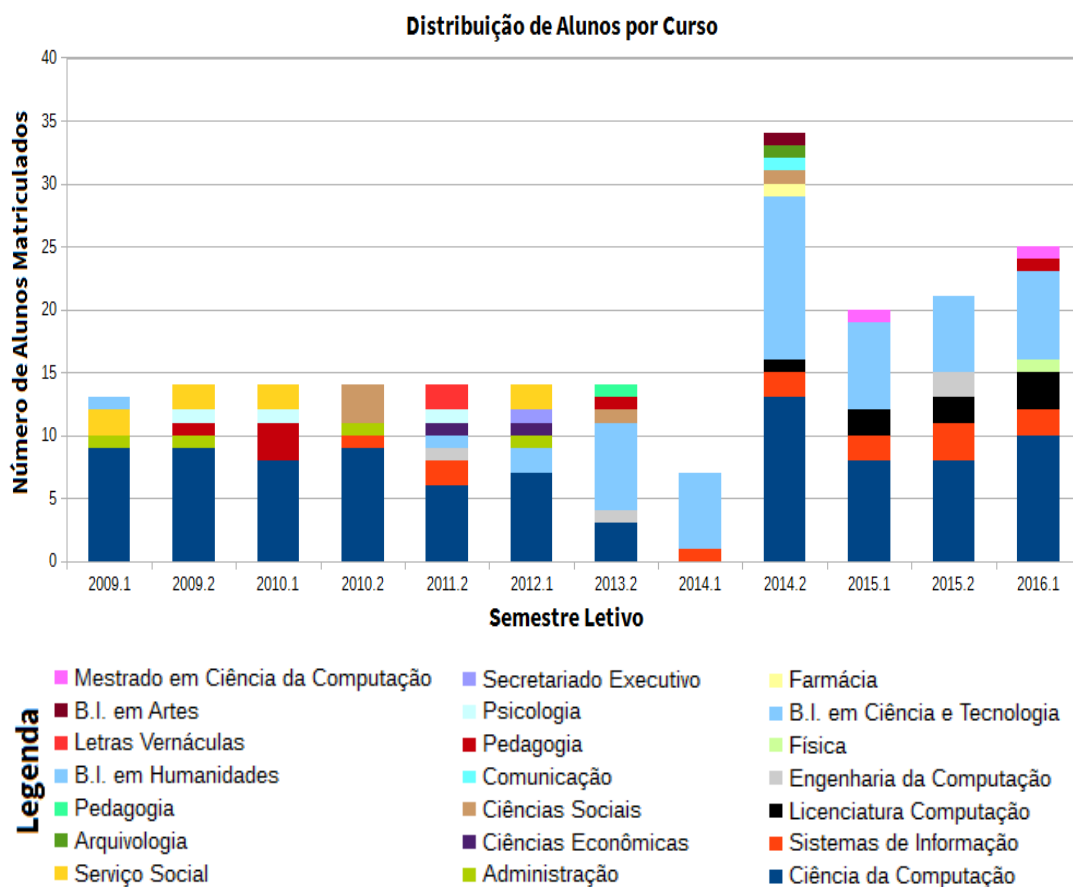


Figura 1. Gráfico da distribuição de alunos por curso e legenda

Estudos recentes [CGI.br e GSMA, 2016] apontam além das disparidades econômicas, sociais e regionais existentes nos países da América Latina e Caribe, a falta de conteúdos localmente relevantes e a falta de competências digitais como barreiras à inclusão digital. Somado a isto, tem-se a falta de infraestrutura das TICs para dar suporte à aprendizagem e apoio à educação digital, impedindo que muitos usuários possam explorar os benefícios que a internet oferece. Apesar da cobertura de banda larga móvel alcançar diversas regiões e do número de smartphones já ter superado o número de computadores nas residências brasileiras, o modelo de inclusão digital brasileiro — que permite que as lojas de aplicativos e os websites de operadoras móveis

disponibilizem conteúdos relacionados, sobretudo, com o entretenimento — oculta a relevância e o potencial de impacto profundo que a internet e demais TICs podem possibilitar. Partindo desta visão, a ACCS propõe ações de formação que buscam contribuir no processo de desenvolvimento e transformação social com o envolvimento de estudantes de graduação e proposição de conteúdos alinhados com os interesses do público-alvo, considerando as realidades, limitações e peculiaridades das demandas locais de cada comunidade.

Os cursos propostos no âmbito da ACCS aqui tratada são ministrados em laboratórios da universidade ou outros espaços disponibilizados pelas comunidades parceiras, pensando no cenário exposto anteriormente e considerando as diversas realidades e necessidades. Dentre as ações já realizadas, destacamos:

1. **Curso de Internet e Tecnologias Abertas:** tem como objetivo introduzir os estudantes aos conhecimentos de informática básica e orientar sobre o uso seguro da internet, capacitando-o profissionalmente na utilização dos principais aplicativos de escritório com propósito de aprimorar o uso das tecnologias digitais para formação do perfil desejado de cidadão contemporâneo. **Ementa:** Familiarização com o sistema operacional livre. Internet: navegadores, buscadores e downloads. Familiaridade com a nuvem e cibersegurança. Fluência em dispositivos móveis. Uso de E-mails. Suíte de Escritório livre LibreOffice: editor de texto, planilha eletrônica e editor de apresentação. **Duração:** 30 horas
2. **Curso de Iniciação à Programação de Computadores:** tem como objetivo introduzir alunos de ensino médio ao contexto de programação de computadores, incentivando o desenvolvimento lógico-matemático dos mesmos. Os conteúdos são apresentados de forma lúdica, com a utilização de recursos audiovisuais, dinâmicas e aulas práticas, incentivando o exercício do raciocínio lógico para desenvolvimento da capacidade de compreender problemas, não só computacionais ou matemáticos, mas sim em diferentes áreas e formular soluções. Este curso tem também como objetivo descobrir novos talentos para a área de computação. **Ementa:** Raciocínio lógico. Algoritmos. Estruturação de dados. Estruturas de controle de linguagens de programação. Implementação de soluções a problemas utilizando ferramentas computacionais voltadas para o ensino de programação. Implementação de soluções a problemas utilizando linguagem de programação. **Duração:** 30 horas
3. **Curso de Montagem e Manutenção de Microcomputadores:** tem como objetivo capacitar o estudante a identificar os componentes físicos dos computadores e suas funcionalidades, realizar condicionamento e montagem de computadores e intervenções no hardware no âmbito da manutenção preventiva e corretiva, além de realizar a instalação de sistemas operacionais e aplicativos. **Ementa:** Componentes de um computador e suas funcionalidades. Recondicionamento de Computadores. Montagem de computadores. Manutenção Preventiva. Manutenção Corretiva. Detecção de hardware. Instalação de sistema operacional e aplicativos. Apresentação de ferramentas e softwares para gerenciamento e manutenção do sistema. Noções de gestão de negócio. **Duração:** 30 horas
4. **Oficinas Itinerantes:** ações de formação que visam a criação de espaços para discussão e aprofundamento de temas que incluam o acesso à informação, o

futuro da sociedade e a socialização da tecnologia, permitindo a reflexão acerca das interferências dos avanços tecnológicos na sociedade e levando seus participantes a se conscientizarem da importância da apropriação deste conhecimento. **Os temas das oficinas incluem:** Ativismo Digital, Eleições, Software Livre, Serviços ao Cidadão, Internet Segura, dentre outros. **Duração:** 2 horas.

5. **Oficinas de Informática Básica:** oficinas de curta duração que são realizadas em locais que possuem um público rotativo (a exemplo de hospitais) e que não dependem de conhecimento prévio. São exemplos de temas tratados nestas oficinas: criação de e-mail, formatação de texto, produção de slides, pesquisa na internet, etc. **Duração:** 1 hora.
6. **Descarte adequado de lixo eletrônico e condicionamento de computadores:** ações de formação para despertar a responsabilidade ambiental para com o lixo computacional, reaproveitando materiais que antes seriam simplesmente descartados (monitores de computador, teclado, mouse e demais periféricos antigos), transformando-os em outros objetos possíveis de serem utilizados no dia a dia, como utensílios domésticos, peças de decoração artesanais, e brinquedos. Além de incentivar o condicionamento de computadores, com a instalação de softwares livres, promovendo o prolongamento da vida útil de equipamentos que poderão ser utilizados em espaços públicos de acesso à internet.

Priorizando a realização de ações para crianças, jovens e adultos em situação de vulnerabilidade socioeconômica dos bairros de Salvador e Região Metropolitana, os locais de atuação foram dos mais diversos, possibilitando aos estudantes de graduação conhecer e ter contato com diferentes espaços, crenças, culturas e comunidades, constituindo-se em desafios constantes a serem superados pelos estudantes. Ao longo dos 12 semestres em que a ACCS vêm se desenvolvendo, os estudantes estiveram imersos em diversas comunidades, cada uma com suas peculiaridades: comunidade inserida na cultura africana do candomblé, comunidade rural, crianças com câncer e suas famílias, pessoas surdas, comunidades diretamente inseridas no movimento negro, crianças em situação de privação de liberdade, jovens oriundos da realidade do ensino público, jovens oriundos de bairros carentes, entre outros, totalizando mais de 600 atendidos.

Para vencer o desafio de trabalhar com diversas culturas é imprescindível o envolvimento de professores e estudantes das mais variadas áreas do conhecimento, para que cada um possa dar sua contribuição, de modo a promover uma atuação verdadeiramente interdisciplinar. Assim, a participação de estudantes de graduação desta universidade oriundos das mais diversas áreas de conhecimento com perfis e experiências variadas possibilita que as atividades possuam uma abordagem que vai além do conhecimento instrumental, e possibilita também a observação das situações de pontos de vistas diversificados.

3. Impactos na formação dos estudantes

Para [Pinto, Rocha e Vilarim, 2010] ainda existe uma inadequação das práticas pedagógicas atuais para a realidade multidisciplinar, multidimensional, global e contextualizada. O ensino disciplinar, fragmentado, baseado em informações isoladas e,

em muitos casos, distante de um contexto mais abrangente não atende mais às exigências do mundo atual, tornando urgente a “necessidade da formação de profissionais que saibam articular conhecimentos oriundos de diversas áreas; indivíduos capazes de avaliar situações/contextos abrangentes de forma crítica e reflexiva; e pessoas habilitadas para produzir soluções/conhecimentos que atendam a diferentes necessidades da sociedade”. Neste sentido, os projetos pedagógicos de cursos de graduação em Computação e afins já destacam competências que o estudante deve ser capaz de desenvolver, tais como: pensamento crítico, capacidade de reflexão e autonomia.

A coleta de dados para identificação das contribuições e impactos da ACCS na formação acadêmica, profissional e social dos estudantes foi realizada por meio de questionários e análise documental. Quanto à consciência do seu papel social, destacamos o depoimento abaixo:

“Participar de uma ACCS é uma experiência única que todos os alunos desta Universidade deveriam vivenciar. O trabalho em equipe entre estudantes de cursos de áreas diversas e a interação com a comunidade externa contribuem de maneira significativa para a formação, não só do profissional, mas do cidadão. Poder contribuir ativamente para a inclusão sociodigital daqueles que estão às margens da globalização e, muitas vezes, sem acesso a uma educação de qualidade, além de contribuir com o descarte adequado do lixo tecnológico, nos deixa orgulhosos e com a sensação de estar cumprindo nosso papel social.” (estudante de Engenharia da Computação, participação no semestre 2011.2).

A participação nas atividades promovidas pela ACCS tornam possível o exercício real da interdisciplinaridade com a imersão em contextos e realidades diferentes daquelas já vivenciadas, além do contato com crenças e culturas desconhecidas por alguns. As diversas situações que podem emergir da prática possibilitam ao estudante desconstruir tabus e preconceitos, identificar desafios e obstáculos e tomar decisões e posturas para resolução de conflitos e frustrações. Apresentamos alguns depoimentos que apontam para essa característica:

“A experiência de viver uma ACCS foi única, trabalhamos em comunidades muito carentes, parecidas com a que moro. Para mim apresentar minha realidade para colegas da academia que nunca havia pegado um ônibus na vida foi ímpar, principalmente quando eles se vêem como atores e autores na atividade fora da Universidade com tantos contrastes culturais e sociais mesmo vivendo na mesma cidade foi notório o choque. Isso me fez crescer acadêmico, pessoal e profissionalmente. Eu sou uma daquelas pessoas que conseguiu romper essa barreira sociocultural e ser a interface entre os dois mundos, sonhando com o dia em que essa figura mediadora não será mais necessária.” (estudante de Ciência da Computação, participação no semestre 2011.2)

Observamos que os impactos das atividades realizadas influenciam além dos alunos dos cursos de computação, a exemplo do depoimento abaixo dado por uma aluna do curso de Serviço Social:

“Bem, o que posso dizer é que essa experiência foi muito enriquecedora para mim em todos os sentidos, e quando digo isso não me refiro somente ao campo profissional, mas também ao campo pessoal, a minha formação enquanto pessoa humana. Neste projeto pude amadurecer muito e ter uma visão mais apurada de

problemas cotidianos que poderei enfrentar enquanto uma profissional, que estará atuando principalmente sobre os impactos causados pelas desigualdades sociais, que de fato sabemos que existem, mas que muitas vezes na correria do dia-a-dia não nos damos conta ou não temos uma ação mais efetiva que demonstre a nossa preocupação frente a essas problemáticas.” (estudante de Serviço Social, participação no semestre 2011.2)

No que concerne à frustração pelo resultado do trabalho desenvolvido não ser o esperado, ou até mesmo por não ter conseguido efetivar o planejado, temos o depoimento de um estudante de Psicologia: *“Devo considerar que o processo educativo em condições estruturais precárias é assim, num dia se avança e noutro sente-se um retrocesso, mas sigo pra frente, fazendo o meu trabalho da melhor forma que posso, querendo ardentemente que ele seja reflexo para uma mudança positiva na subjetividade da garotada que ali está.”* (estudante de Psicologia, participação no semestre 2011.2)

Durante a prática, os estudantes de graduação no papel de facilitador, por vezes se veem desafiados em passar o conhecimento, não sendo tão técnico e pensando nas dimensões humanas, pois o público que está sendo atendido nem sempre conhece determinados termos que para estudantes de Computação são considerados simples, por já estar enraizado no seu cotidiano.

“A dificuldade que tivemos foi com a explicação dos conceitos apresentados durante a aula, porque precisávamos dar as explicações de uma forma simples mas acabávamos entrando em um nível mais técnico. Apesar disto, os demais colegas percebiam que estava encaminhando para um nível mais técnico e chamava atenção do que estava falando. A cooperação entre os instrutores foi essencial para contornar as dificuldades apresentadas neste primeiro encontro. Haverá reuniões para discutir e aperfeiçoar as aulas para as próximas semanas.” (equipe de instrutores do Curso de Iniciação à Programação de Computadores, participação no semestre 2014.2).

“Participar desta atividade foi sem sombras de dúvidas muito enriquecedor para minha formação pessoal e social. Conhecer a realidade de pessoas da população baiana menos favorecidas me fez perceber o tanto de dificuldades que permeiam a sociedade. Desde dificuldades em função do sistema educacional brasileiro precário até dificuldades financeiras. Perdi as contas de quantas vezes alunos dos cursos entraram em contato pra dizer que não iam ou não foram para uma aula por falta de dinheiro de passagem. Isso choca e nos faz refletir que a realidade é muito mais do que a gente pensa que conhece. Pra mim às vezes era difícil passar o conhecimento de forma mais simples, lúdica e didática, mas o apoio dos colegas de equipe, principalmente àqueles que são de outra área do conhecimento ou que já tinham experiência como instrutor de cursos e trabalho comunitário foi essencial para melhorar neste quesito. Até mesmo ver as dificuldades de algumas pessoas em utilizar alguns softwares ou localizar recursos me fez refletir sobre o meu papel enquanto desenvolvedora de sistemas que atenderão aos mais diversos perfis.” (estudante de Sistemas de Informação, participação no semestre 2015.2)

Ainda que a extensão seja vista como um processo de objetivos filantrópicos como apontado no trabalho de [Neto, Eliseo, Silva e Pacheco, 2009] sobre a percepção dos estudantes em participar de atividades de extensão, almejamos que as atividades de extensão promovam a autonomia dos envolvidos, sejam eles instrutores e/ou alunos, por

meio de atividades em que a participação dos educandos seja de maneira ativa, onde haja interação entre as diferentes partes do processo educativo como proposto por [Freire, 1983].

4. Conclusões

A Ação Curricular em Comunidade e em Sociedade (ACCS) possibilita aos estudantes de ensino superior, de qualquer área do conhecimento, uma experiência prática do papel de um educador através de um processo enriquecedor, onde ele ensina e também aprende. Para investigar a importância das ações de extensão desenvolvidas na ACCS para a formação social, acadêmica e profissional dos estudantes de graduação, bem como refletir sobre os acertos e oportunidades de melhoria da proposta, estes estudantes, em conjunto com professores e monitores da ACCS discutem e refletem sobre a metodologia adotada, fazendo sugestões, críticas e elogios, tanto presencial quanto virtualmente. Além disso, ao final de cada ciclo, alunos do componente curricular e também os alunos dos cursos de extensão, respondem um questionário avaliando as atividades desenvolvidas e o desempenho dos atores envolvidos.

Dentre as melhorias já realizadas podemos destacar o aumento dos encontros semanais para discussão e reflexão da ação de uma para duas horas. Esta medida, sugerida por uma das alunas de graduação, possibilitou realizar os debates de cada atividade de forma mais calma e reflexiva, com maior retorno dos instrutores em relação ao progresso dos alunos dos cursos de extensão. Outra medida adotada é o fortalecimento das capacitações realizadas para os novos instrutores de cada semestre promovendo o contato destes com instrutores de semestres anteriores para que haja uma interação maior das experiências vivenciadas, no planejamento dos cursos, execução das aulas, desenvoltura e postura perante os alunos. Nos dois últimos semestres os materiais didáticos passaram a ser desenvolvidos em plataformas colaborativas online de modo a facilitar o acesso e permitir ajustes, adaptações e atualizações dos materiais de forma mais dinâmica, bem como obter um histórico das modificações feitas pelos instrutores.

Com o objetivo de proporcionar atividades de maior qualidade, com resultados satisfatórios e disseminar as ações desenvolvidas, algumas oportunidades de melhoria já foram identificadas:

- Publicação dos materiais didáticos confeccionados sob a licença Creative Commons para que grupos interessados em popularizar a ciência, tecnologia e softwares livres possam utilizá-los;
- Acompanhamento do estado psicológico dos instrutores envolvidos nas atividades, principalmente aqueles que realizam atividades com um público que requer cuidados adicionais;
- Ampliação o número de aulas semanais dos cursos de extensão, visto que é uma solicitação recorrente dos alunos participantes dos cursos para que ocorram mais práticas e encontros;
- Elaboração de cartilha de apoio aos instrutores com orientações simplificadas e objetivas da metodologia adotada no trabalho, para facilitar o desenvolvimento das atividades por novos instrutores e tornar a fase de adaptação mais rápida.

Diante das diretrizes e recomendações curriculares sobre a importância e necessidade de uma formação humanística e social aos estudantes egressos dos cursos de Computação e dos relatos de estudantes mostrando o quão benéfico é participar de atividades que possibilitam uma rica troca de experiências, aprendizados e

conhecimentos entre Universidade e Sociedade, enxergamos que as práticas de ensino engessadas — muito focadas em conhecimentos técnico e científico — devem ser revistas, pois apesar de necessários para o exercício profissional, estes conhecimentos devem atuar em conjunto com outras habilidades formando, assim, o perfil do profissional do mundo contemporâneo, um profissional que seja capaz de tomar decisões e criar soluções de maneira rápida e preparado para atuar de maneira holística, levando em consideração aspectos culturais, políticos, econômicos e sociais envolvidos.

5. Referências

- Brasil. (1999) Ministério da Educação. Secretaria de Educação Superior. Diretrizes Curriculares de Cursos da Área de Computação e Informática, <http://www.inf.ufrgs.br/ecp/docs/diretriz.pdf>
- CGI.br (2016). Comitê Gestor da Internet no Brasil. TIC Domicílios 2015: Pesquisa sobre o uso das tecnologias de informação e comunicação nos domicílios brasileiros, http://cetic.br/media/docs/publicacoes/2/TIC_Dom_2015_LIVRO_ELETRONICO.pdf, Março
- FORPROEX. (2012) Fórum de Pró-Reitores de Extensão das Universidades Públicas Brasileiras. Política Nacional de Extensão Universitária, <https://www.ufmg.br/proex/renex/images/documentos/2012-07-13-Politica-Nacional-de-Extensao.pdf>, Março.
- FREIRE, Paulo. Extensão ou comunicação? 7ª ed. Rio de Janeiro, Paz e Terra, p. 93 (O Mundo, Hoje, v.24). 1983
- GSMA. (2016) Connected Society: Digital inclusion in Latin America and the Caribbean, <http://www.gsma.com/latinamerica/pt-br/inclusao-digital>, Março 2017
- Jonathan, M. (2016) Currículos de Computação: porque permanecem assim? In: WEI - 24º Workshop sobre Educação em Computação - XXXVI Congresso da Sociedade Brasileira de Computação, <http://ebooks.pucrs.br/edipucrs/anais/csbc/assets/2016/wei/06.pdf>, Março
- Neto, J. S.O., J. S.; Eliseo, M. A. ; Silva, L. A. ; Pacheco, B. (2009) c. In: XXIX Congresso da Sociedade Brasileira de Computação (SBC) - Workshop em Educação em Informática (WEI), 2009, Bento Gonçalves. XXX Congresso da Sociedade Brasileira de Computação, p. 509-518.
- Pinto, C. L. Q; Rocha, C. R. C; Vilarim, G. (2010) Desafios da Prática da Interdisciplinaridade em Cursos de Ciência da Computação: a Experiência do UNIFESO. XXX CSBC, WEI, Belo Horizonte, http://www.inf.pucminas.br/sbc2010/anais/pdf/wei/st05_02.pdf, Março
- Pró-Reitoria de Extensão. Ação Curricular em Comunidade e em Sociedade (ACCS). Disponível em: <https://proext.ufba.br/accs>, Maio
- Thiollent, M. (1985) Metodologia da Pesquisa-Ação. São Paulo: Cortez
- UFBA. Conselho Superior de Ensino, Pesquisa e Extensão. Resolução nº 01, de 2013. Disponível em: http://www.contabeis.ufba.br/fcc/wp-content/uploads/2017/04/ACCS_Resolu%C3%A7%C3%A3o-01.2013_.pdf, Maio

Workshop de GNU/Linux: incentivando o uso de softwares livres nos cursos de informática

**Aellison Cassimiro T. dos Santos¹, Aline M. Araújo¹, Bianca Karla A. de S. Melo¹,
Diego Filipe S. de Lima¹, Diogo V. Dantas¹, Igor N. dos Santos¹,
Marcos Henrique A. da Silva¹, Matheus Lima M. de Araújo¹,
Matheus Maranhão R. Praxedes¹, Paulo R. P. da Silva¹**

¹Departamento de Informática – Universidade Federal da Paraíba (UFPB)
João Pessoa – PB – Brasil

cassimiroaellison@gmail.com, aline.ma.02@gmail.com,

biancaamoriim@gmail.com, diego.filipe@cc.ci.ufpb.br,

diogoventura@cc.ci.ufpb.br, igornobregasantos@yahoo.com.br,

marcos.alves@cc.ci.ufpb.br, matheus.lima@cc.ci.ufpb.br,

matheuspraxedes2014@gmail.com, pauloricardo@ci.ufpb.br

Abstract. *With the growth of the information technology in the society, and consequently, in the educational system, and the challenges in accessing new technologies, the use of free software is a promising solution. Free and Open Source Software is, currently, an essential basis in any institution. Thanks to the concepts that the free software movement follows, it is possible to democratize the access to these technologies. This work aims: to present a way to elaborate and to drive workshops about SLs for novice students in informatic courses; and to promote the use of the GNU/Linux Operational System as a gateway to other Free Softwares, and also as an alternative to proprietary softwares. At the end, a quantitative evaluation was carried out based on direct observation and information collected by means of questionnaires.*

Resumo. *Com o avanço da informática na sociedade, e consequentemente no sistema educacional, e a dificuldade de acesso às novas tecnologias, o uso de softwares livres mostra-se uma solução promissora. Software Livre e de Código Aberto (FOSS, do inglês Free Open Source Software) é, atualmente, uma base imprescindível em qualquer instituição. Graças aos conceitos que norteiam o movimento de software livre, é possível democratizar o acesso à essas tecnologias. Este trabalho tem como objetivos: apresentar uma forma de elaborar e conduzir oficinas sobre SLs para alunos recém-chegados em cursos de informática; e promover o uso do Sistema Operacional GNU/Linux como uma porta de entrada para outros softwares livres, e uma alternativa ao uso de softwares proprietários. Ao final, foi realizado uma avaliação qualitativa baseada na observação direta e nos dados colhidos por meio de questionários.*

1. Introdução

A essência do movimento do *Software Livre* (SL) se baseia no compartilhamento de ideias em prol da democratização do conhecimento. A grosso modo, SL é definido como *Software* cujo autor o distribui e permite a todos a liberdade de uso, cópia, alteração e redistribuição de sua obra [Georg 2016]. Este movimento surgiu em 1983 quando Richard Stallman, então funcionário do Laboratório de Inteligência Artificial do MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) criou o Projeto GNU. Para institucionalizar o Projeto GNU, Stallman fundou a *Free Software Foundation* (FSF) com o objetivo de garantir que todos pudessem desfrutar dos direitos de cópia, redistribuição e modificação do software.

A adoção de SL é uma alternativa viável para não só empresas ou países desenvolvidos, mas também para os países emergentes que buscam alternativas que viabilizem o crescimento sustentável, econômico e tecnológico. Essa adoção é uma tendência mundial, o Parlamento Europeu quer que as Instituições da União Européia migrem para *Software Livre*, segundo notícia postada na plataforma colaborativa Joinup [Offerman 2015]. Em março de 2016, o Parlamento Europeu publicou uma resolução que trata da relação entre o mercado digital e os SLs [Schestowitz 2016].

Além dessa relevância global, ao longo do Curso de Bacharelado em Ciência da Computação, percebeu-se a importância e a necessidade do uso de *Software Livre* (SL) para um melhor aprendizado dos conteúdos ministrados na academia. SLs como Wireshark (analisador de protocolos de redes de computadores), Eclipse (ambiente de desenvolvimento integrado de softwares), GIMP (editor de imagens similar ao *Photoshop*), LibreOffice (pacote de software similar ao Microsoft Office, com editores de texto, slides, planilhas etc.) são essenciais durante a graduação em cursos na área de computação - o *GNU/Linux* é a porta de entrada para esses e outros SLs, e alguns desses sistemas citados já vêm instalados nele, o que facilita muito o contato com esse universo. Mesmo com toda essa relevância, não há nenhuma disciplina no Curso que ensine o *GNU/Linux*, e sem esse conhecimento básico, os alunos têm mais dificuldades de usufruir os benefícios que os SLs propiciam. Assim sendo, os integrantes do Programa de Educação Tutorial (PET) do Curso de Bacharelado em Ciência da Computação da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), oferecem todo início de período um workshop de *GNU/Linux* para os alunos (novatos e veteranos) dos cursos de Ciência da Computação, Matemática Computacional e Engenharia da Computação.

Este trabalho tem como objetivos mostrar como elaborar e conduzir oficinas sobre SLs para alunos recém-chegados em cursos de informática, e expor a importância do uso de SLs, mais especificamente o Sistema Operacional *GNU/Linux*, como uma ferramenta facilitadora do acesso a novas tecnologias e ao processo de democratização do conhecimento no ensino superior.

O presente trabalho está organizado da seguinte forma: a próxima seção apresenta alguns trabalhos sobre SLs na educação, a seção 3 expõe o método usado para realizar, conduzir e avaliar a oficina sobre *GNU/Linux*, a seção 4 apresenta os resultados obtidos, e na última seção estão as conclusões.

2. Trabalhos Relacionados

Para avaliar a utilização e a importância de SLs como ferramenta de ensino no Brasil, foi realizada uma busca manual por artigos, acerca do tema, nos anais do Simpósio Brasileiro

de Informática na Educação (SBIE) e do *Workshop* de Informática na Educação (WIE), entre as edições de 2009 e 2016. A busca foi feita utilizando como chave "Software Livre na Educação" onde foram selecionados 4 artigos, os quais serão descritos a seguir.

O primeiro descreve uma investigação sobre a adoção do software livre como recurso pedagógico no processo de aprendizagem, realizando uma pesquisa baseada em um estudo de caso, visando analisar os efeitos pedagógicos de uma prática educativa apoiada por tecnologia. Na análise dos resultados constatou-se que nenhum aluno possuía ou tinha conhecimento de outro sistema a não ser o *Windows*, eles também não sabiam o que é um *Software Livre* e muito menos como utilizar o *Writer* e o *Impress*. [Canez et al. 2016].

O segundo destaca a importância da inclusão digital, no meio escolar, como uma alternativa para o crescimento no desempenho dos professores e estudantes. Ao término do estudo é apresentada uma crítica devido ao baixo investimento em laboratórios de informática para aprendizagem, utilizando, além de *Softwares Livres*, ferramentas inovadoras ligadas à tecnologia. [Silveira et al. 2015].

O terceiro apresenta um curso de informática básica para menores e adolescentes carentes, utilizando tecnologias de *Software Livre* (SL) na formação técnico-social-profissional destes adolescentes, viabilizando a inclusão sócio-digital destas pessoas. A expectativa do projeto é que os envolvidos façam uso de SL para produção e a difusão de conteúdos de forma a resgatar e a preservar as manifestações culturais das comunidades às quais eles pertencem. [Olguín et al. 2009].

O quarto apresenta um ambiente *GNU/Linux* que disponibiliza ao aluno as ferramentas necessárias para programar, dando acesso controlado a endereços *web*, diminuindo a distração dos estudantes em aulas de programação no qual se faz o uso do laboratório, podendo ser facilmente customizada de acordo com as necessidades de quem o gerencia, matendo a segurança e evitando fraude por parte dos alunos, como o plágio das atividades práticas. Ele encerra a discussão mostrando as vantagens de usar o ambiente *GNU/Linux*, computacionalmente customizado (Prob1Box), para adoção em contextos de atividades de sala de aula. [Gaudencio et al. 2014].

3. Metodologia

O *workshop* de *GNU/Linux* foi realizado durante a XIV edição da Semana da Computação, evento organizado semestralmente pelo PET do curso de Bacharelado em Ciência da Computação da UFPB (PET.Com). O evento tem como público alvo alunos dos cursos de graduação da área de computação, com foco especial em alunos ingressantes nesses cursos. Sendo, então, uma ótima oportunidade para a execução deste *workshop*, que compartilha o mesmo público alvo em específico.

3.1. Metodologia de Ensino

Para a decisão sobre que abordagem metodológica utilizar, foi realizado um estudo aprofundado acerca dos últimos trabalhos executados com o mesmo público alvo ou com temas associados. Optou-se então pelo uso de aulas expositivas dialogadas, utilizada em [Ramos et al. 2015], que gerou ótimos resultados em um grupo de indivíduos com os mesmos focos e com baixa discrepância de idade.

O *workshop* foi ministrado por um integrante do grupo, enquanto os outros membros atuavam como monitores, sanando as dúvidas dos participantes, de maneira a tornar

o curso mais fluido e dinâmico. A execução se deu em seis horas, sendo seccionado em duas partes de três horas com intervalo para um *coffee break*, com intuito de amenizar a fadiga gerada por aulas longas e ininterruptas.

A primeira parte do *workshop* abordou conceitos básicos sobre *softwares* livres e *softwares* abertos. Além da importância do uso desse tipo de aplicação, foram também citados tópicos importantes como o *Crowdsourcing* e o seu impacto socioeconômico. A distribuição do *GNU/Linux* utilizada foi o *Ubuntu* em sua versão 14.04, escolhida por ser a versão do *GNU/Linux* mais utilizada no mundo com pelo menos 25 milhões de usuários na versão original da distribuição [Canonical 2016]. Sobre ela, foram abordados tópicos gerais, desde os conceitos básicos até uma visão geral do sistema.

A segunda metade do projeto se concentrou em comandos básicos e intermediários de *shell* (o terminal dos sistemas operacionais) do *Ubuntu*, levantando tópicos específicos sobre sistemas operacionais, além dos pontos positivos decorrentes do uso de um *software* livre e aberto. Foram também expostas aplicações livres para a plataforma *GNU/Linux*, com o intuito de expor opções gratuitas para a substituição de *softwares* pagos, além de incentivar o fim da cultura da pirataria. O último tema a ser abordado na aula foi o uso de ferramentas para programação utilizando o *GNU/Linux*, tendo em vista que o público alvo é composto por alunos ingressantes em cursos de computação.

3.2. Questionários de Avaliação

Foram aplicadas perguntas dentro de um questionário¹ avaliativo que objetivaram, de forma geral, obter informações sobre o uso do *GNU/Linux* pelos participantes, o grau de conhecimento sobre este sistema operacional e a qualidade do *workshop* ministrado.

A contribuição para o questionário se deu de forma não obrigatória. Os 22 participantes receberam-no de forma digital em seus endereços eletrônicos fornecidos durante a execução do *workshop*, questionário este caracterizado por 5 perguntas com o objetivo de avaliar o progresso do estudante após adquirir o conhecimento trabalhado no *workshop*. Além destas 5 perguntas, para uma avaliação técnica, o questionário também possui mais 2 que são reservadas a opiniões e sugestões dos participantes quanto ao minicurso, permitindo aprimorá-lo para suas próximas edições.

As quatro perguntas iniciais buscavam construir um cenário anterior e posterior à execução do *workshop*. A primeira questionava se os participantes utilizaram o sistema operacional *GNU/Linux* antes de participarem do *workshop* e, logo em seguida, na segunda questão, estes eram indagados sobre a utilização do sistema após a participação.

A terceira questão media o conhecimento dos acadêmicos sobre o conteúdo antes da execução do *workshop*, enquanto a quarta e última questão da parte inicial do questionário media o mesmo conhecimento, porém após passarem pelo *workshop*.

A parte final do questionário objetivava coletar os pensamentos dos participantes a respeito do minicurso em geral. Opiniões e críticas sobre o *workshop* atual, assim como sugestões para as próximas edições, deveriam ser submetidas nestas questões. As mesmas nos deram a capacidade de avaliar possíveis problemas e aprimorar as versões do *workshop* que estão por vir.

¹Link do questionário: <https://goo.gl/c5SEZM>

Com todos os dados recolhidos por esse questionário, é possível fazer uma análise completa, do *workshop* apresentado, de um ponto de vista técnico ou tático. Ainda assim, um problema enfrentado nesta etapa foi a garantia de que as informações recebidas via questionário não estavam enviesadas, uma vez que questionários de preenchimento mandatório podem ser mal recebidos pelos participantes, o que afeta em suas respostas. Como o questionário foi enviado pelo correio eletrônico e não houve obrigação por parte dos participantes em preenchê-los, as respostas fornecidas tem uma maior chance de serem fiéis ao que os participantes realmente acharam. Além disso, houve uma certa quantidade de tempo entre o fim do *workshop* e o envio dos questionários, dando aos participantes a chance de preenchê-los no conforto de seu lar, onde puderam fazer uma análise mais crítica e cuidadosa a respeito das respostas fornecidas.

4. Resultados e Discussão

Ao serem questionados sobre a utilização do sistema operacional *GNU/Linux* antes de participarem do *workshop*, como mostrado na Figura 1(a), 61,5% dos participantes responderam que não utilizavam e 38,5% responderam que sim. Utilizando a análise dos dados apresentados, é possível constatar a carência de conhecimento dos participantes sobre o assunto.

Após participarem do *workshop*, os participantes mostraram se sentir capacitados e dispostos a utilizar o sistema operacional *GNU/Linux* com maior frequência. Como mostrado na Figura 1(b), a maioria, 76,9%, é usuário de alguma distribuição *GNU/Linux* enquanto 23,1% continuam utilizando outros sistemas operacionais.

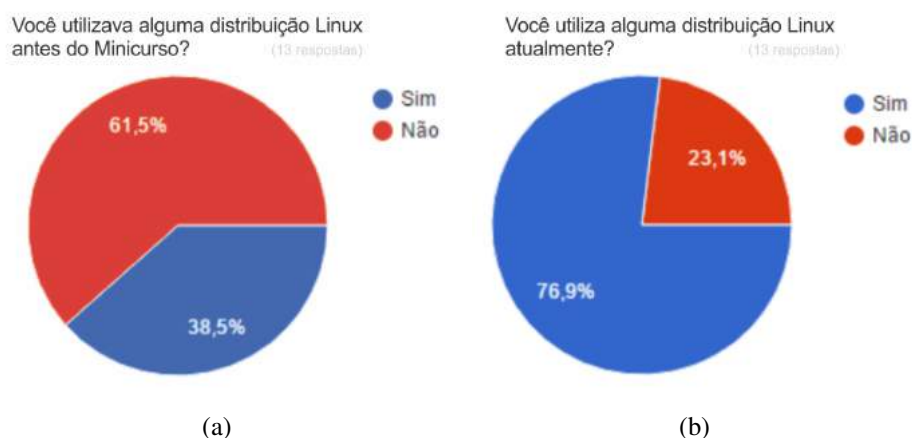


Figura 1. Gráfico demonstrativo da utilização do sistema operacional *GNU/Linux* pelos acadêmicos antes (a) e depois (b) de participar do *workshop*.

Foi estabelecida uma escala para que os participantes pudessem avaliar o grau de conhecimento individual sobre o tema. De acordo com as respostas, 23,1% dos participantes consideraram não possuir conhecimento algum, 46,2% possuíam conhecimento inicial, 23,1% possuíam conhecimento intermediário e 7,7% já possuíam um pouco mais avançado, conforme ilustra Figura 2.

Novamente, os integrantes avaliaram seus conhecimentos depois de participarem do *workshop*. O nível mais baixo da escala considerada para avaliação não representou

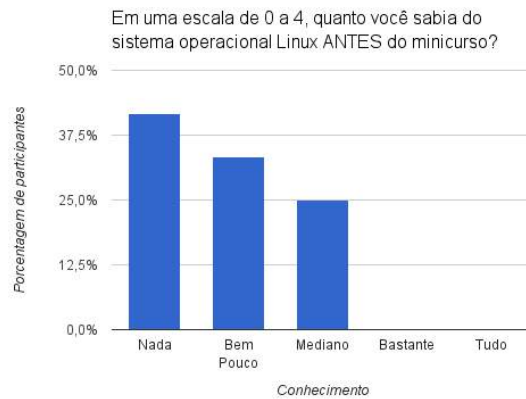


Figura 2. Gráfico demonstrativo do conhecimento sobre o sistema operacional GNU/Linux pelos acadêmicos antes de participar do *workshop*.

participante algum e as porcentagens foram divididas nos 3 níveis intermediários. Como ilustrado na Figura 3, 15,4% apresentam conhecimento baixo, 30,8% apresentam conhecimento mediano e 53,8% julgam possuir conhecimento satisfatório sobre o assunto.

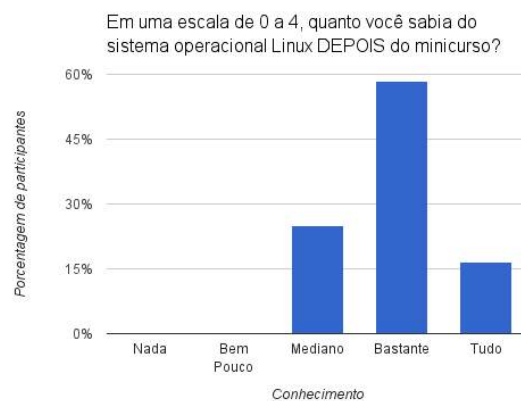


Figura 3. Gráfico demonstrativo do conhecimento sobre o sistema operacional GNU/Linux pelos acadêmicos depois de participar do *workshop*.

Questionados sobre a importância do tema na formação acadêmica, conforme ilustra a Figura 4, 7,7% afirmaram que possuir tal conhecimento é importante, enquanto que a maioria, 92,3%, afirmou ser extremamente importante. Estes dados realçam o reconhecimento dos participantes quanto à relevância do assunto no âmbito da graduação na área de informática.

Os dois últimos questionamentos buscavam estabelecer parâmetros de avaliação da equipe organizadora para mensurar a efetividade do trabalho e, principalmente, aprimorar futuros trabalhos.

Tendo isto em vista, a adequação do conteúdo quanto ao objetivo dos acadêmicos foi avaliada e 46,2% consideraram que o conteúdo do *workshop* atingiu o objetivo por completo, 46,2% indicaram um relacionamento muito bom entre o conteúdo e seu objetivo e 7,7% consideraram um bom relacionamento. Estes dados, vistos na Figura 5(a), mostram que nenhum participante avaliou o conteúdo como ruim e que este foi inteira-



Figura 4. Importância do conhecimento sobre o sistema operacional GNU/Linux para a graduação em cursos na área de informática.

mente aplicado aos acadêmicos sem desvirtuamento de foco.

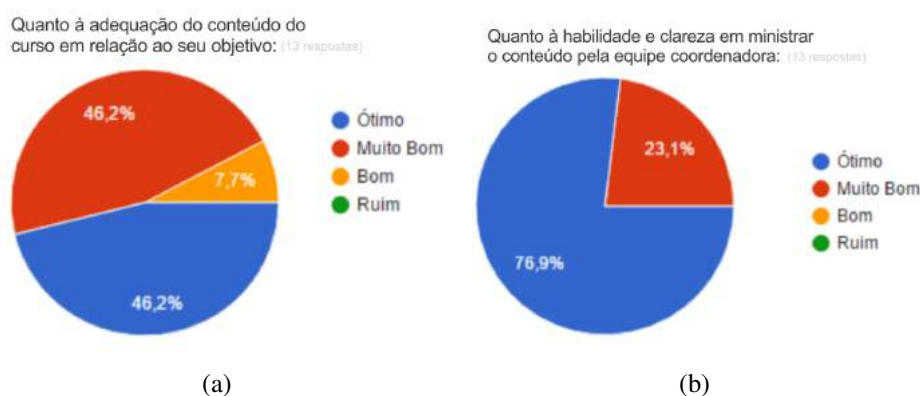


Figura 5. Gráfico demonstrativo da adequação do conteúdo em relação ao objetivo dos participantes (a) e da Habilidade e clareza da equipe organizadora em ministrar o conteúdo (b).

A clareza e habilidade da equipe também foram avaliadas e os dados são mostrados na Figura 5(b). A maioria, 76,9%, conceituou a clareza e habilidade da equipe como ótima e 23,1% indicaram ser muito boa. Nenhum participante avaliou este aspecto como ruim.

Os participantes obtiveram um melhor desempenho e menos dificuldade no uso do sistema operacional em relação aos alunos que não participaram do *workshop*. Muitos deles utilizaram os conhecimentos adquiridos na elaboração dos seus projetos práticos das disciplinas do curso, como relatado por eles. Alguns dos participantes sugeriram a continuidade do curso com o ensino de comandos mais avançados do próprio sistema operacional, visto que eles também necessitavam de tais comandos para as suas disciplinas e atividades práticas fora do ambiente acadêmico.

5. Considerações Finais

O *workshop* de GNU/Linux reduz a falta de conhecimento tecnológico que atinge alguns dos alunos de computação, principalmente aqueles que acabaram de ingressar no curso.

Ao final da execução desse *workshop*, concluímos que as definições e ideais presentes nas ideologias do uso de *software* livre são cada vez mais necessárias no cotidiano dos discentes, sobretudo no cotidiano dos indivíduos envolvidos nesse projeto pelo fato de serem de cursos de graduação em computação.

Os resultados obtidos neste trabalho revelam a necessidade da continuidade do *workshop*, visto que uma quantidade considerável de pessoas não havia usado o *GNU/Linux* antes do curso. Além disso, eles mostram que os objetivos foram alcançados, pois boa parte dos participantes avaliaram bem tanto o conteúdo quanto a forma que este foi transmitido, o que valida o modo de conduzir um evento como este. Ministrar o *workshop* foi recompensador, pois, além do compartilhamento de conhecimentos técnicos, a atividade promove uma interação entre os alunos veteranos e os recém-chegados.

Nas próximas edições pretendemos criar um ambiente virtual que proporcione a interação, pós-evento, entre os participantes e os organizadores do *workshop*, algo parecido com um fórum (FAQ). Com isso, poderemos avaliar melhor o aprendizado dos participantes sobre *GNU/Linux* de forma continuada.

Referências

- [Canez et al. 2016] Canez et al. (2016). Implicações do software livre no ensino e aprendizagem: um estudo de caso no ensino médio politécnico. In *Anais do Workshop de Informática na Escola*, volume 22, page 476.
- [Canonical 2016] Canonical (2016). Tendering with ubuntu. Disponível em: <<https://insights.ubuntu.com/2015/04/17/tendering-with-ubuntu/>>, Acesso em: 25 de maio 2016.
- [Gaudencio et al. 2014] Gaudencio et al. (2014). Prog1box: Um ambiente linux sem distrações para o aprendizado de programação. In *XXV Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*. SBIE.
- [Georg 2016] Georg, C. F. (2016). O que é o software livre? Disponível em: <<https://ansol.org/filosofia>>, Acesso em: 25 de maio 2016.
- [Offerman 2015] Offerman, A. (2015). European parliament wants EU institutions to switch to open source. Disponível em: <<https://joinup.ec.europa.eu/community/osor/news/european-parliament-wants-eu-institutions-switch-open-source>>, Acesso em: 25 de maio 2016.
- [Olguín et al. 2009] Olguín et al. (2009). Uso de software livre na preservação das manifestações culturais de adolescentes que habitam as periferias e bolsões de miséria em cascavel-pr. In *Workshop de Desafios da Computação Aplicada à Educação*. CBIE.
- [Ramos et al. 2015] Ramos, T., Batista, L. V., Neto, J. A. M., Santos, A., Machado, K., and Branco, P. (2015). Ensino de programação para olimpíada brasileira de informática. In *Anais do Workshop de Informática na Escola*, volume 21, page 122.
- [Schestowitz 2016] Schestowitz, R. (2016). The european parliament warmed up to free/open source software and the media missed the story. Disponível em: <<http://techrights.org/2016/03/22/eu-foss-2016/>>, Acesso em: 25 de maio 2016.

[Silveira et al. 2015] Silveira et al. (2015). Informática aplicada à educação nas escolas públicas: Estudos e perspectivas de parcerias com o instituto federal de goiás, campus inhumas. In *XXI Workshop de Informática na Escola*. CBIE-LACLO.

A Utilização do Scratch como Ferramenta no Ensino de Pensamento Computacional para Crianças

Alexandre Hild Aono¹, Hugo Vianna Silva Rody¹, Daniela Leal Musa¹,
Vanessa Andrade Pereira¹, Jurandy Almeida¹

¹Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal de São Paulo – UNIFESP
12247-014, São José dos Campos, SP – Brasil

{alexandre.aono,hugo.rody,musa,vapereira,jurandy.almeida}@unifesp.br

Abstract. *This paper presents an initiative of teaching computational thinking for elementary school students through an expository methodology combined with the use of Scratch as an accessible and intuitive learning environment. The proposed learning method relies on a theoretical explanation about computational thinking-related topics and then on practical activities where the students developed parts of a game that were merged into a final project. This experiment has enabled us to evaluate methodologies for learning computer programming and using of games as a motivating pedagogical tool.*

Resumo. *Este artigo apresenta uma iniciativa de ensino de pensamento computacional para estudantes de uma escola de ensino fundamental com a utilização de uma metodologia expositiva aliada à utilização do Scratch como um ambiente de aprendizado intuitivo e acessível. O método de aula adotado consistiu em uma explicação teórica sobre um tópico relacionado à aquisição de pensamento computacional seguida de atividades práticas de programação nas quais os alunos construíram partes de um jogo que posteriormente foram reunidas em um projeto final. Este experimento permitiu avaliar metodologias para ensino de programação e utilização de games como ferramenta para incentivo pedagógico na área.*

1. Introdução

O Pensamento Computacional está influenciando a pesquisa em quase todas as áreas, tanto em Ciências quanto em Humanidades [Bundy 2007]. Os conceitos básicos de Computação – abstração, decomposição, entre outros – são de fundamental importância na formação do cidadão, provendo recursos cognitivos necessários à resolução de problemas nas mais diversas áreas [Wing 2008]. De acordo com França et al. (2012), a lista de habilidades e conhecimentos necessários para o pleno exercício da cidadania neste século é extensa, incluindo o chamado Pensamento Computacional, enfatizando que esse, talvez, seja o mais importante e menos compreendido conhecimento.

Os benefícios educacionais de ser capaz de pensar computacionalmente – começando com o uso de abstrações – reforçam e melhoram as habilidades intelectuais e, portanto, podem ser transferidas para qualquer domínio [Wing 2011]. O pensamento computacional envolve a resolução de problemas, a criação de sistemas e o entendimento do comportamento humano por intermédio dos conceitos fundamentais da Ciência da Computação, incluindo uma gama de ferramentas mentais que refletem a amplitude da área de Ciência da Computação [Wing 2006]. Nesse ínterim, Wing (2006) aponta que pensar como um cientista da computação significa mais do que ser capaz de programar

um computador; isso requer pensar em múltiplos níveis de abstração.

De acordo com a Associação de Professores de Ciência da Computação [Stephenson et al., 2005], o conhecimento em Ciência da Computação é essencial ao atual aluno de ensino básico, assim como as outras ciências tradicionais, proporcionando benefícios diretos aos estudantes. Introduzir o ensino de computação a alunos de ensino básico por intermédio do pensamento computacional tem se mostrado apropriado, pois o aluno irá adquirir habilidades de pensamento focadas em aspectos que não se limitam à programação [Wing 2008]. Nesse contexto, o pensamento computacional e o raciocínio lógico deveriam ser ensinados desde cedo, já que aumentam a capacidade de dedução e conclusão de problemas por intermédio do desenvolvimento de uma solução para uma dada situação [França et al. 2012, Scaico et al. 2013].

Barcelos et al. (2012), aponta que a falta de domínio adequado de conhecimentos matemáticos pelos alunos é um possível fator explicativo para a falta de interesse e evasão em cursos da área de computação. Além disso, a desmotivação para inserção na área por parte dos estudantes de ensino básico pode ser atribuída ao fato de que, como essa área não é um componente explorado nos currículos escolares, muitos estudantes possuem ideias incorretas e atitudes negativas sobre a área, percebendo como chatas e entediadas as carreiras neste campo [Scaico et al. 2013].

O ensino de Pensamento Computacional se mostra, além de motivador para inserção dos estudantes de ensino básico em Computação, uma ferramenta para o desenvolvimento de habilidades relacionadas à construção do pensamento de maneira lógica, tornando o ensino de programação mais acessível para um maior número de indivíduos e estimulando muitas capacidades cognitivas [Scaico et al. 2013].

Visando verificar o processo de ensino e aprendizagem em Pensamento Computacional, propusemos um curso de introdução a esses conceitos utilizando uma abordagem expositiva em conjunto com um “Ambiente Introdutório de Ensino” [Fincher et al. 2010] pelo qual os participantes puderam utilizar os conceitos de programação aprendidos para construção de um jogo, tornando a aquisição de conhecimento acessível e motivadora. A cada novo tópico os alunos desenvolveram uma subparte do jogo, relacionando a utilização da programação com os passos para criação de um jogo.

2. Fundamentação Teórica

A maior fraqueza que aprendizes de programação enfrentam são relacionadas a atividades para resolução de problemas, criação de soluções e suas respectivas modelagens na forma de programas [de Kereki et al. 2008].

A possibilidade de criar um jogo digital encanta e atrai cada vez mais adeptos para aprendizagem computacional. Em 2016, cresceram os cursos que oferecem ensino de computação com conteúdo orientado ou pautado por jogos no mercado e se faz cada vez mais presente a questão da inclusão do ensino de programação na grade curricular.

Os jovens de hoje são, como define Marc Prensky (2012), “nativos digitais”, ou seja, eles nasceram e foram criados em ambientes dominados pela tecnologia digital. Sua relação com a tecnologia é espontânea e intuitiva, fato que pode ser utilizado para trazer benefícios e apoiar a prática da aprendizagem em vários campos incluindo o pensamento lógico utilizado em linguagens de programação.

Respeitando a condição desses jovens é possível destacar os esforços de alguns

acadêmicos em fazer uso do jogo digital como aliado da aprendizagem [Soares, Petarnella (orgs.) 2012, Prensky 2012, Alves e Nery (orgs.) 2015, Alves e Coutinho (orgs.) 2016]. A intenção de conciliar aprendizagem com entretenimento já era uma questão relevante para teóricos clássicos da pedagogia [Vygotsky 1984, Wallon 1979, Piaget 1973] e continua em pauta [França 2015].

No entanto, a aquisição de conhecimentos computacionais suficientes para construção de um jogo pode representar uma barreira, pois sem habilidades necessárias para tal, esse processo de motivação pode se tornar ineficiente, ocasionando frustrações e desmotivando a aprendizagem de computação [França, 2015]. Além de que, conforme aponta Scaico (2013), a inserção de programação com abordagens equivocadas poderá gerar um efeito contrário ao que se pretende.

Dessa forma, ambientes visuais de programação facilitam o desenvolvimento de software em um contexto que é divertido e não ameaçador [Meerbaum-Salant et al. 2013]. De acordo com de Kereki et al. (2008), alguns ambientes de programação como Alice, Jeroo e GreenFoot foram testados e avaliados e se mostraram não intuitivos, sendo os resultados não significativos.

Esses fatores justificam a utilização do Scratch [MIT 2014] como ferramenta a ser utilizada no curso proposto, pois além de encorajar jovens a manter atitudes positivas sobre Ciência da Computação [Meerbaum-Salant et al. 2013], esse ambiente traz uma linguagem que contribui para a aprendizagem de programação através de um conceito inovador de desenvolvimento de código orientado a projeto, que privilegia a Computação Criativa, expressão que é utilizada para reconhecer que o conhecimento e as práticas que os jovens precisam adquirir para criar software devem ser provenientes dos seus interesses pessoais [Scaico 2013].

De acordo com Resnik et al. (2009), quando o Scratch foi criado, eles desejavam desenvolver uma abordagem para programação cujo apelo seria para pessoas que nunca haviam se imaginado programadoras antes, o que claramente representa os participantes de nosso curso: crianças.

3. Experiências Correlatas Utilizando o Scratch

O uso do Scratch como ferramenta para o ensino de programação tem sido proposto por diversos autores. Dias et al. (2014) e Kereki et al. (2008) utilizaram o Scratch no Ensino Superior como forma de introduzir os conceitos de programação aos universitários. No trabalho de Dias et al (2014), o curso foi dividido em aulas, nas quais eram realizados pequenos desafios descritos como algoritmos na forma de linguagem natural, de modo que os alunos teriam de utilizar os conceitos aprendidos previamente para resolver a temática utilizando Scratch. Em Kereki et al. (2008), foram desenvolvidos exercícios divididos por assunto em vez de serem reunidos em um único projeto com um objetivo final.

Para o Ensino Médio, Meerbaum-Salant et al. (2013) propuseram atividades para ensino de conceitos de programação com o uso exclusivo do Scratch. Scaico (2013) realizou uma aula teórica seguida de duas aulas práticas, nas quais foram desenvolvidos projetos que abordassem os conteúdos aprendidos. Em Rodriguez et al. (2015), houve atividades relacionadas à exploração dos recursos do Scratch e discussões acerca dos conceitos de lógica de programação por trás dos comandos criados, sendo, no final do curso, construído um jogo educativo por grupos de alunos.

As propostas desenvolvidas para o Ensino Fundamental focam no ensino de conceitos introdutórios de lógica e computação. Em Oliveira et al. (2014), foram utilizadas brincadeiras para introduzir alguns conceitos (número binários, algoritmos e introdução às linguagens de programação) e o Scratch utilizado para o aprendizado dos conteúdos relacionados à programação. A estratégia de ensino descrita em von Wangenheim et al. (2014) teve como base a aprendizagem ativa e os comandos do Scratch foram usados para a criação de histórias interativas. Em Schoeffel et al. (2015), os conceitos de lógica foram introduzidos para a resolução de desafios matemáticos e o Scratch foi utilizado nas aulas práticas de programação. No trabalho de Wilson et al. (2010) foram realizadas atividades práticas em que o uso da programação era utilizado para resolver um determinado problema. Gülbahar et al. (2014) também abordaram conceitos introdutórios de computação durante a construção de programas no Scratch.

Em nosso curso, foi proposta a construção de um jogo como elemento principal da construção de conhecimento. A cada aula, os alunos aprenderam conceitos de Pensamento Computacional de maneira expositiva de modo a instigá-los a pensar nos conceitos por trás da utilização do Scratch. Com essa introdução, os alunos realizaram atividades práticas. A princípio utilizaram-se atividades com personagens e cenários que não eram relacionados ao jogo final com intuito de praticar o conteúdo e, no fim de cada aula, foi realizada a construção de uma subparte do projeto final, demonstrando como o elemento de programação aprendido era importante para a construção do jogo.

A utilização do Scratch em cursos superiores, conforme elencado acima, visava tornar o ensino de programação acessível e menos traumático aos alunos de cursos de Computação. No Ensino Médio, a utilização do Scratch se deu em conjunto com algumas aulas teóricas e/ou discussões acerca de conteúdos de programação. No entanto, no Ensino Fundamental, as abordagens aqui apresentadas foram práticas, não sendo realizada uma explanação teórica sobre o conteúdo por trás da construção de animações (essa construção de conhecimento foi realizada de maneira indireta). Observa-se também que a construção do projeto final nos trabalhos que fizeram uso dessa forma de avaliação não tiveram sua construção em conjunto com os tópicos de lógica apresentados. Em nosso curso, optamos por fornecer aos alunos o entendimento teórico por trás da utilização do Scratch e enfatizar sua importância como parte do jogo sendo construído, mostrando aos alunos a necessidade daquele processo algorítmico ser aprendido e utilizado.

4. Estudo de Caso Realizado

A abordagem aqui proposta consta de um minicurso introdutório de Pensamento Computacional que tem como objetivo estimular e ensinar aos jovens do Ensino Fundamental os conceitos de computação, por meio do uso do Scratch e tendo como agente motivador a criação de um jogo.

Visando a verificação da abordagem proposta, foi realizado um estudo de caso em alunos do 6º ano do Ensino Fundamental de uma Escola Particular. O conteúdo programático foi desenvolvido para abordar, de maneira acessível, os principais conceitos de Pensamento Computacional. A construção de um jogo foi utilizada como abordagem principal. Dessa forma, o conteúdo programático foi elaborado de modo que, a cada aula, os alunos fossem capazes de desenvolver uma subtarefa necessária para construção do jogo e, ao mesmo tempo, aprender um conceito relacionado ao pensamento computacional.

Para desenvolvimento do curso, foi feita uma parceria com o colégio Rezende e Rezende, localizado em Jacareí - SP. Sua aplicação foi em Fevereiro de 2017 no início do período letivo dos alunos. Foram desenvolvidas 8 aulas com duração aproximada de 1 hora e 30 minutos ministradas por um aluno do Instituto de Ciência e Tecnologia da Universidade Federal de São Paulo sob supervisão de um docente e auxílio de 8 monitores (também alunos do Instituto). A preparação do material didático foi realizada pelos alunos participantes do projeto.

A escola conta com um laboratório com capacidade para 20 alunos com estrutura apropriada para execução do projeto. No total, foram 20 alunos com idades de 10 e 11 anos. Cada aluno teve um computador para utilização, o que possibilitou que a utilização da ferramenta fosse individualizada e pudesse ser aproveitada por todos os alunos. O conteúdo foi apresentado na forma de slides, mostrando os tópicos relacionados à programação em conjunto com a ferramenta Scratch versão 2.0, por não necessitar de conexão com Internet.

4.1. Conteúdo Programático

Como parte teórica do curso, foram abordados os conteúdos descritos na Tabela 1. Cada conteúdo introduziu conceitos de programação em conjunto com habilidades para desenvolvimento de aplicações utilizando o Scratch.

Tabela 1. Conteúdo programático do curso.

Conteúdo	Descrição
Introdução à programação e utilização do Scratch	Utilização da programação para resolução de tarefas cotidianas para os alunos, o ambiente de programação Scratch e diferentes tipos de comandos para criação de cenários
Conceitos de algoritmos e criação de figuras e efeitos visuais e sonoros com Scratch	Conceitos de algoritmos, descrição narrativas de algoritmos, efeitos sonoros e visuais disponíveis no Scratch, utilização de camadas e criação de cenas com animações
Procedimentos	Implementação e criação de procedimentos em Scratch e técnicas para construção de comandos
Variáveis	Tipos de dados no Scratch, criação e manipulação
Estruturas de decisão	Técnicas para resolução de problemas, uso dos comandos de seleção e fluxo de controle
Estruturas de repetição	Estruturas de repetição para execução de comandos eficientes e variáveis de controle
Processamento de strings	Técnicas para processamento de strings
Projeto Final	Criação do jogo e reunião dos conceitos aprendidos

4.2. Criação do Jogo

O jogo escolhido para criação foi o “Flappy Bird”, muito conhecido e difundido entre jovens de diferentes idades. É um jogo eletrônico para dispositivos móveis criado em 2013 pela dotGears (Figura 1). Escolheu-se esse jogo pela facilidade de criação com os conteúdos propostos e pela relação com a realidade dos participantes. O jogo se baseia na movimentação de um pássaro em um cenário com diversos obstáculos, tendo como objetivo o acúmulo da maior pontuação possível, controlando o pássaro para que não colida nos elementos do cenário.



Figura 1. Jogo proposto para criação.

Para sua criação, foram seguidos alguns passos que vão ao encontro dos conteúdos aprendidos no decorrer do curso. Cada parte do jogo foi desenvolvida na aula respectiva em conjunto com outras atividades (por exemplo, utilização de outros personagens e cenários) para aquisição de habilidades lógicas utilizando o Scratch. Cada etapa na criação do jogo se relacionou com um elemento de programação apresentado e previamente praticado. Dessa forma, foi utilizado o seguinte roteiro, com seus respectivos elementos de programação:

- (a) Criação do personagem e do efeito sonoro sob as diferentes condições do jogo: criação de figuras e efeitos visuais levando-se em conta a construção lógica por trás do conceito de algoritmos;
- (b) Ações dos personagens e dos obstáculos sob as diferentes condições do cenário: cada ação foi dividida em um procedimento diferente, demonstrando a importância na utilização de procedimentos para organização da estrutura geral;
- (c) Manipulação das coordenadas geográficas de acordo com as teclas pressionadas;
- (d) Pontuação obtida pelo jogo: utilização de variáveis e contadores para controle dos pontos obtidos pelo jogador;
- (e) Movimentação do cenário e do personagem: estruturas de repetição necessárias para garantir o funcionamento correto do jogo;
- (f) Ações do personagem ao bater nos obstáculos ou cair: quebra de fluxo sob determinadas estruturas de decisão;
- (g) Mensagens de início e final de jogo: processamento de strings de acordo com uma situação específica.

5. Discussão e Resultados

Nesse contexto, foram desenvolvidas habilidades de modo a engajar os alunos a utilizar o pensamento computacional para resolver tarefas condizentes com sua realidade, sendo capazes de utilizar o Scratch como ferramenta para aplicações diversas. Com a aprendizagem dos comandos principais, os alunos puderam desenvolver um jogo, no qual se sentiram confortáveis e puderam ultrapassar a expectativa, criando diferentes versões do “Flappy Bird” com ações diferentes para outras teclas e com cenários que

demonstraram o domínio em utilizar o Scratch. Como objetivo principal, os alunos puderam visualizar os principais conceitos envolvidos na criação de um programa, desenvolvendo o raciocínio sequencial e a habilidade para resolver um dado problema utilizando técnicas inerentes à programação.

Em estudo realizado por Meerbaum-Salant et al. (2013), os resultados mostraram que a maioria dos alunos é capaz de compreender os conceitos de Ciência da Computação. Em nosso caso, os resultados se mostraram bastante semelhantes. Os alunos se sentiram confortáveis com a temática abordada nos slides e as dúvidas que foram levantadas durante a explicação teórica puderam ser resolvidas de maneira eficiente pelos monitores, mostrando o tópico de programação de maneira visual no Scratch.

Eventuais erros cometidos pelos alunos na construção de ações no Scratch foram facilmente contornados. Muitas das vezes sem intervenção de um monitor. Comparando esse fato com o que apontam Malan et al. (2007), compreendemos que o fato de não existir distração com a sintaxe permitiu que não houvesse desmotivação por parte dos alunos, haja vista que não houve evasão em nosso curso. Tal fato se mostra bastante positivo, principalmente quando comparado à iniciativa realizada por Oliveira et al. (2014), que utilizaram a mesma ferramenta para alunos de ensino fundamental e observaram um índice de evasão de 31,25%.

Pudemos observar que a aquisição do conhecimento proposto pelo conteúdo programático foi atingida, pois todos os alunos foram capazes de construir o jogo; ratificando o uso do Scratch para iniciação à programação. Embora os resultados obtidos por Dias et al. (2014) e Kerekí et al. (2008) tenham sido relacionados a alunos de graduação, pudemos observar o mesmo tipo de reação dos participantes: o primeiro contato com programação não foi traumático e notou-se um alto nível de motivação em conjunto com uma percepção positiva de programação.

Em relação à utilização do projeto final (criação do jogo) como elemento chave na construção do conhecimento, consideramos como positiva. Conforme acima mencionado, todos os alunos conseguiram terminar o jogo e depois puderam jogar os jogos criados pelos amigos; fato que causou diversão e satisfação em ter criado uma ferramenta que pode ser utilizada para diversão de outras pessoas. Em pesquisa realizada por Ouahbi et al. (2015), foi testada a seguinte hipótese: "A criação de jogos por estudantes usando um ambiente de programação apropriado pode melhorar a motivação de estudantes por programação?". Os resultados obtidos pelos autores foi positivo e da mesma forma obtivemos as mesmas conclusões.

Como os participantes de nosso curso possuíam idades de 10 e 11 anos, tivemos cuidado ao apresentar os conceitos relacionados às coordenadas dos personagens na tela (plano cartesiano acompanhado de números negativos), pois esses conceitos não fazem parte das competências de Matemática apresentadas para o ano escolar em que estão inseridos. Os participantes tiveram a princípio dificuldade em visualizar essa localização. No entanto, quando puderam ver as animações no Scratch e como a movimentação do personagem mudava o eixo de localização, o entendimento foi natural e os alunos puderam usar esse conceito para construção de animações. Esse fato vai ao encontro do que observou Scaico (2013) ao afirmar que o projeto desenvolvido demonstrou que apesar das inúmeras deficiências que os estudantes possuíam e que estavam relacionadas à escrita, leitura e fundamentação lógico-matemática, foi possível ensinar e aprender os conceitos básicos de programação, ao passo que se aprendia também sobre o mundo

através da própria programação.

Como forma de avaliar os objetivos de aprendizagem, utilizamos uma abordagem semelhante à utilizada por von Wangenheim et al. (2014). Com base na avaliação dos trabalhos construídos e na observação dos monitores, identificamos que todos os alunos participantes atingiram os objetivos de aprendizagem relacionados à aquisição de Pensamento Computacional para resolução de problemas. De modo geral, como análise do atendimento de objetivos de aprendizagem principais temos que (1) usar o Scratch como ferramenta para resolução de problemas foi atingido por todos os alunos, (2) usar o Scratch como ferramenta para criação de jogos e animações foi atingido pela maioria dos alunos e (3) criar animações adequadas e condizentes com o objetivo proposto foi atingido por todos os alunos.

Visando verificar se os objetivos propostos pelo roteiro do curso (Seção 4.2) foram atingidos, classificamos os alunos de acordo com a forma em que realizaram as atividades propostas, conforme mostra a Tabela 2.

Tabela 2. Análise do desenvolvimento do roteiro do curso

Roteiro	Realizado com auxílio total do monitor	Realizado com auxílio parcial do monitor	Realizado sem auxílio do monitor
Criação do personagem e do efeito sonoro	0%	0%	100%
Programação das ações do personagem	10%	20%	70%
Manipulação das coordenadas geográficas	20%	20%	60%
Uso de variáveis e contadores	30%	50%	20%
Movimentação do cenário e do personagem	20%	60%	20%
Manipulação de mensagens	0%	0%	100%

Os conteúdos mais simples e que envolviam apenas a parte criativa dos participantes foram realizados rapidamente e não necessitaram ter uma interferência por parte dos monitores. A maior dificuldade apresentada no curso foi a manipulação de variáveis e seu incremento.

O curso foi ministrado em horário extracurricular, de forma que os alunos retornavam à escola para assistir às aulas. Muitos dos alunos se sentiram tão confortáveis e motivados com a utilização da ferramenta e com sua utilização para criação de jogos que chegavam mais cedo ao curso para utilizar o Scratch para criar animações que não faziam parte do conteúdo proposto. Diversos comandos que apresentamos para os alunos já haviam sido aprendidos por eles simplesmente no manuseio da ferramenta. Não tivemos problemas com indisciplina e falta de atenção, pois os alunos realmente se engajaram nas atividades e se interessaram pelo que foi apresentado.

6. Conclusão

Este trabalho apresentou um processo de ensino e aprendizagem em Pensamento Computacional, aplicado a alunos do 6º ano do Ensino Fundamental de uma Escola

Privada, que teve como diferencial a explanação dos conteúdos durante o desenvolvimento de um jogo pelos alunos. Assim, foram desenvolvidos o raciocínio sequencial e a habilidade para resolver um dado problema utilizando técnicas inerentes à programação.

Os resultados mostraram que a metodologia proposta cativou a atenção de crianças e jovens e os conceitos foram assimilados facilmente. Com isso, concluímos que a aprendizagem de Pensamento Computacional e Programação pode ser agradável e de fácil entendimento dos aprendizes.

Referências

- Bundy, A. (2007). Computational thinking is pervasive. *Journal of Scientific and Practical Computing*, 1(2), 67-69.
- Wing, J. M. (2008). Computational thinking and thinking about computing. *Philosophical transactions of the royal society of London A: mathematical, physical and engineering sciences*, 366(1881), 3717-3725.
- França, R. D., et al. (2012). Ensino de ciência da computação na educação básica: Experiências, desafios e possibilidades. In *XX WEI*.
- Wing, J. (2011). Research notebook: Computational thinking - What and why? *The Link Magazine, Spring*.
- Wing, J. M. (2006). Computational thinking. *Communications of the ACM*, 49(3), 33-35.
- Stephenson, C., Gal-Ezer, J., Haberman, B., & Verno, A. (2005). The new educational imperative: Improving high school computer science education. *Final Report of the CSTA Curriculum Improvement Task Force*.
- von Wangenheim, et al. (2014). Ensino de computação com scratch no ensino fundamental—um estudo de caso. *RIBIE* 22.03: 115.
- Barcelos, T. S.; Silveira, I. F. (2012). Pensamento Computacional e Educação Matemática: Relações para o Ensino de Computação na Educação Básica. In *Anais XX Workshop sobre Educação em Computação*. p. 52-55.
- Scaico, Pasqueline Dantas, et al. (2013). Ensino de programação no ensino médio: Uma abordagem orientada ao design com a linguagem scratch. *RIBIE* 21.02: 92.
- Fincher, S.; Cooper, S.; Kölling, M.; Maloney, J. (2010). Comparing alice, greenfoot & scratch. *Proceedings do 41st SIGCSE'10*, Milwaukee, Wiscosin, USA. p. 192-193.
- de Kereki, Inés Friss et al. (2008). Scratch: Applications in computer science 1. *Frontiers in Education Conference*. FIE 2008. 38th Annual. IEEE.
- Meerbaum-Salant, Orni, Michal Armoni, and Mordechai Ben-Ari (2013). Learning computer science concepts with scratch. *Computer Science Education* 23.3: 239-264.
- MIT. SCRATCH (2014). <http://scratch.mit.edu>. March.
- Alves, Lynn e Nery, Jesse (orgs., 2015). *Jogos eletrônicos, mobilidades e educações*. Bahia: EdUFBA.
- Alves, Lynn e Coutinho, Isa de J. (orgs., 2016). *Jogos Digitais e Aprendizagem*. Campinas: Papirus.

- Piaget, Jean (1973). *A Formação do Símbolo na Criança*. Rio de Janeiro: Zahar.
- Prensky, Marc (2012). *Aprendizagem baseada em jogos digitais*. São Paulo: Editora SENAC.
- Soares, Eliana e Petarnella, Leandro (orgs., 2012). *Cotidiano Escolar e Tecnologias*. Campinas: Ed. Alínea.
- Vygotsky, L. S. (1984). *A formação Social da mente*. São Paulo: Martins Fontes.
- Wallon, Henri (1979). *Psicologia e Educação da Criança*. Lisboa: Veja/Universidade.
- França, R. S., & Tedesco, P. (2015). Explorando o Pensamento Computacional no Ensino Médio: do design à avaliação de jogos digitais. In *Anais do XXI WIE*.
- Resnick, M. et al. (2009). Scratch: programming for all. *Communications of the ACM* 52.11: 60-67.
- Malan, D. and Leitner, H. (2007). Scratch for budding computer scientists, *Proc. of SIGCSE*, USA.
- Dias, Klissiomara L. et al. (2014). A linguagem Scratch no ensino de programação: Um relato de experiência com alunos iniciantes do curso de licenciatura em computação. *XXII Workshop de Educação em Computação*. Brasília. 2014.
- Oliveira, Millena L. S, et al. (2014). Ensino de lógica de programação no ensino fundamental utilizando o Scratch: um relato de experiência - *XXII WEI*, Brasília.
- Ouahbi, Ibrahim, et al. (2015). Learning basic programming concepts by creating games with scratch programming environment. *Procedia-Social and Behavioral Sciences* 191: 1479-1482.
- Wilson, Amanda et al. (2010). Evaluating Scratch to introduce younger schoolchildren to programming. *Proceedings of the 22nd Annual Psychology of Programming Interest Group*. Universidad Carlos III de Madrid, Leganés, Spain.
- Rodriguez, Carla, et al. (2015). Pensamento Computacional: transformando ideias em jogos digitais usando o Scratch. *Anais do WIE*. Vol. 21. No. 1.
- Gülbahar, Yasemin et al. (2014). The effects of teaching programming via Scratch on problem solving skills: A discussion from learners' perspective. *Informatics in Education-An International Journal*. Vol 13_1: 33-50.
- Schoeffel, Pablo, et al. (2015). Uma Experiência no Ensino de Pensamento Computacional para Alunos do Ensino Fundamental. *Congresso Brasileiro de Informática na Educação*. Vol. 4. No. 1.

Apoiando o Ensino de Diagrama de Atividades através de um jogo educacional

Williamson Silva¹, Igor Steinmacher², Tayana Conte¹

¹ Grupo de Pesquisa em Usabilidade e Engenharia de Software (USES) - Instituto de Computação (IComp) – Universidade Federal do Amazonas (UFAM), Manaus, AM – Brasil

² Departamento de Computação – Universidade Federal de Tecnologia do Paraná (UFTPR), Campo Mourão, PR – Brasil

{williamson.silva,tayana}@icompu.ufam.edu.br, igorfs@utfpr.edu.br

Abstract. *Models are simplifications of the reality that help us to comprehend, analyze and design software. Therefore, it is necessary to support students while they are learning these models. One way to make this process more effective is by using alternative teaching methods, such as educational games. To facilitate the software models learning, we developed and evaluated an educational game called ActGame (Activity Diagram Game) which aims to support the students in the modeling of Activity Diagrams. This paper presents ActGame and a preliminary game evaluation. The results indicate that the game positively influenced motivation, user experience and student learning.*

Resumo. *Modelos são simplificações da realidade que ajudam a compreender, analisar e projetar o software. Logo, faz-se necessário auxiliar alunos enquanto estão aprendendo estes modelos. Uma maneira de tornar o ensino mais efetivo é utilizando métodos de ensino alternativos, como jogos educacionais. Para facilitar a aprendizagem de modelagem, foi desenvolvido e avaliado um jogo educacional chamado ActGame (Activity Diagram Game) que auxilia os alunos na modelagem de Diagrama de Atividades. Este artigo apresenta o ActGame e uma avaliação preliminar do jogo. Os resultados indicam que o jogo influenciou positivamente a motivação, a experiência do usuário e a aprendizagem dos alunos.*

1. Introdução

A capacidade de abstração é considerada uma das habilidades mais importantes para estudantes, pois auxilia na elaboração de modelos utilizados durante o desenvolvimento de software (Sien, 2010). Esses modelos são simplificações da realidade que permitem aos profissionais compreender e analisar sistemas de software (Al-Tahat, 2014). No entanto, estudantes apresentam dificuldades para aprender estes modelos, tais como: dificuldade em entender a sintaxe e a semântica dos diagramas, dificuldade em organizar as informações nos modelos, dentre outras (Szmurło e Śmiałek, 2006; Sien, 2010; Lethbridge, 2014; Al-Tahat, 2014). Essas dificuldades podem afetar a qualidade do software final, pois os modelos que serão criados representarão o software de forma incompleta e incorreta (Sien, 2010; Lethbridge, 2014).

Uma das razões para este tipo de problema pode ser a forma como a modelagem vem sendo ensinada (Szmurło e Śmiałek, 2006), uma vez que a forma tradicional ainda é a principal abordagem de ensino utilizada (Freeman et al., 2014). Logo, é necessário explorar novos recursos pedagógicos a fim de proporcionar aos alunos um aprendizado mais aprofundado, além de construir um ambiente de aprendizagem divertido e motivador (Petri e Chiavegatti, 2015). Um dos recursos pedagógicos disponíveis aos professores são os jogos educacionais, que têm por objetivo despertar os interesses dos alunos pelo conteúdo que está sendo ensinado (Souza e França, 2016). Contudo, Petri e Chiavegatti (2015) afirmam que os jogos existentes na literatura objetivam apenas lembrar os conceitos aprendidos na aula. Assim, os alunos não conseguem aplicar tais conteúdos de forma mais prática, como, por exemplo, na elaboração de um modelo.

Este artigo apresenta um jogo educacional chamado *ActGame (Activity Diagram Game)*. O *ActGame* é um jogo baseado em cartas e tem por objetivo ensinar os alunos a construir um dos modelos ensinados nos cursos de computação, o Diagrama de Atividades (DA) da UML (*Unified Modeling Language*) (OMG, 2010). O DA é utilizado para representar, de forma mais detalhada, a lógica das atividades que podem ser realizadas no software (Booch et al., 2005). Este jogo utiliza alguns elementos de gamificação (Deterding et al., 2011), visando incentivar a competição entre os alunos durante a modelagem do DA. Para analisar a viabilidade do jogo em um ambiente acadêmico, foi realizada uma avaliação experimental preliminar utilizando um modelo específico para avaliação de jogos educacionais, o MEEGA (*Model for the Evaluation of Educational Games*) (Savi et al., 2011). O *ActGame* foi utilizado por alunos de um curso de Ciência da Computação para avaliar o grau de aprendizado de DA após a utilização do jogo.

Este artigo está organizado da seguinte maneira: na Seção 2 são descritos os trabalhos relacionados ao ensino de modelos de software; na Seção 3 é apresentado o jogo desenvolvido para o ensino de diagrama de atividades; na Seção 4 é descrito o processo experimental do jogo e seus resultados. Por fim, na Seção 5 são mostradas as considerações finais e trabalhos futuros decorrentes desta pesquisa.

2. Trabalhos Relacionados

Os Diagramas de Atividades da UML têm sido amplamente utilizados na modelagem de fluxos de trabalho, processos de negócios e serviços, em que servem para diversos propósitos, desde documentação, definições de requisitos e especificações de casos de teste até simulação e geração de código (Booch et al., 2005). No entanto, não foram identificados na literatura jogos educacionais que explorem os conteúdos sobre DA (Wangenheim e Shull, 2009). Por outro lado, percebe-se que há várias abordagens de ensino sendo propostas visando auxiliar o ensino de outros modelos da UML.

Lethbridge (2014) propôs a ferramenta de modelagem Umple, projetada para ajudar estudantes e engenheiros de software a aprender e ensinar diagrama de classes. Tourtoglou e Virvou (2008) projetou um Sistema de Aprendizagem Colaborativo Apoiado por Computador que auxilia os estudantes na elaboração de diagramas da UML. Al-Tahat (2014) propôs um método instrucional para o ensino de UML com a ajuda de um ambiente 3D. Szmurło e Śmiałek (2006) desenvolveu um conjunto de boas práticas que objetiva ensinar os alunos a desenvolver os modelos da UML.

Além destas abordagens, há várias outras abordagens que têm sido propostas para melhorar o ensino de modelos da UML. Assim, ajudando os alunos no desenvolvimento da habilidade de projetar modelos corretos e completos. Contudo, não foi identificado nenhuma abordagem ou jogo educacional que ensine os alunos a projetar o DA (Wangenheim e Shull, 2009). Dessa forma, este trabalho propõe um novo jogo educacional visando atender esta lacuna, conforme será mostrado a seguir.

3. Jogo Educacional *ActGame*

ActGame (Activity Diagram Game) é um jogo educacional baseado em cartas, que visa ajudar os alunos durante a modelagem de DA. A fim de ajudar os alunos, o jogo auxilia na identificação dos elementos do DA e também na construção do diagrama a partir de uma descrição textual. Com o intuito de facilitar o entendimento dos alunos em relação à notação do DA, as cartas do jogo foram criadas tomando como base os principais elementos do DA (Booch et al., 2005).

O *ActGame* foi projetado para ser utilizado individualmente e em grupo. Individualmente, apenas um jogador irá interagir com o jogo seguindo suas etapas. Em grupo (equipes de três a cinco jogadores), os jogadores devem discutir livremente o problema e em seguida realizar a modelagem seguindo as etapas do jogo. O jogo possui cinco etapas: Identificação das Swimlanes (Etapa 1), Identificação do Nó de Início (Etapa 2), Identificação das atividades (Etapa 3), Agrupamento das atividades (Etapa 4), Transição das Atividades (Etapa 5), Identificação do Nó Final (Etapa 6). Cada etapa possui 4 cartas: Passo da Modelagem, Perguntas-Guia, Dicas e Exemplo. A descrição das cartas do jogo está na Tabela 1.

Tabela 1. Descrição das Cartas utilizadas no jogo.

Tipo de Carta	Descrição
Carta Passo da Modelagem	Esta é a primeira carta a ser utilizada em cada uma das etapas do jogo. Nessa carta há: uma heurística de construção que ajuda a identificar os elementos do diagrama a partir da descrição textual (Figura 1 Item A); Instruções de Construção que ajudam a inserir esses elementos no diagrama (Figura 1 Item B); um exemplo do elemento (Figura 1 Item C); e um exemplo de aplicação que mostra de forma ilustrativa como extrair o elemento do diagrama de atividades a partir de uma descrição textual (Figura 1 Item D).
Carta Perguntas-Guia e Carta Dicas	A carta Perguntas-Guia e Dicas apresentam, respectivamente, perguntas (Figura 1 Item E) e dicas (Figura 2 Item A) que direcionam os jogadores na identificação dos elementos e na construção do DA. Além disso, cada carta possui um exemplo de como identificar o elemento a partir de uma descrição textual (Figura 1 Item F e Figura 2 Item B).
Carta Exemplo	Esta carta apresenta mais um exemplo de como o elemento deve ser modelado no DA (Figura 2 Item C).

Para motivar os estudantes durante a construção do DA, o jogo emprega elementos de gamificação (Deterding et al., 2011). Cada tipo de carta possui uma pontuação diferente e ao utilizá-las os jogadores ganham um emblema com uma pontuação (Figura 3). Por exemplo, quando os jogadores utilizam apenas um tipo de carta em uma etapa do jogo, eles ganham um emblema com a pontuação da carta utilizada. Porém se utilizarem as cartas combinadas, por exemplo, a carta Passo da Modelagem e a carta Exemplo, estes ganham os pontos referentes às duas cartas. O objetivo é fazer com que os jogadores utilizem mais cartas possíveis para que aprendam a modelar. Além disso, há mais dois emblemas com uma pontuação extra para a equipe (a) que terminar primeiro a modelagem e (b) cujo diagrama estiver mais correto e completo. Ganha o jogo a equipe que tiver mais pontos no final. Vale frisar que o professor atua como moderador do jogo. O moderador deve explicar as regras do jogo às equipes, entregar a primeira carta (Passo da Modelagem) e informar quais cartas ainda

estão disponíveis, caso a equipe solicite também outra(s) carta(s). Além disso, o moderador deve anotar as cartas solicitadas por cada equipe em cada etapa do jogo.

No início do jogo, todos da equipe recebem uma descrição textual com o problema deverá ser modelado (cenário, especificação de casos de uso, dentre outros). Recomenda-se que a equipe leia e discuta a descrição textual em conjunto para que todos obtenham o mesmo nível de entendimento sobre o problema. Após isso, os jogadores recebem as cartas e são informados que devem seguir as instruções de construção/ identificação que há em cada carta. Por exemplo, na carta Passo da Modelagem 1 (Identificação da *Swimlane*) há uma heurística que ajuda os jogadores a identificar quem são os atores envolvidos no cenário, então os jogadores começam a identificar na descrição textual os atores que podem ser as *swimlanes* do DA. Portanto, espera-se que seguindo as instruções das cartas em cada etapa do jogo, os jogadores identifiquem os elementos e modelem o diagrama. A versão completa do *ActGame* está disponível em um relatório técnico (Silva et al., 2017).

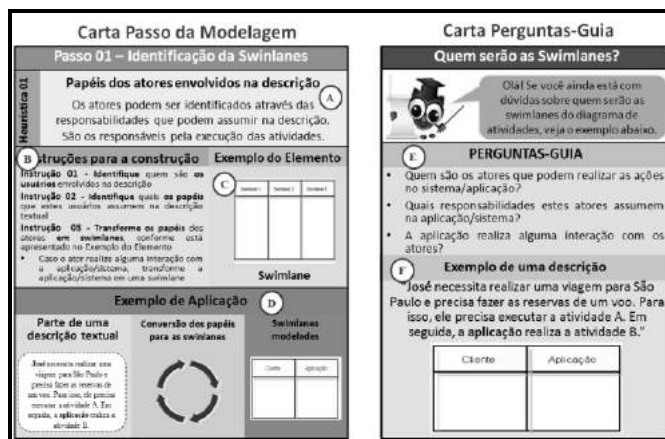


Figura 1. Exemplo das cartas Passo da Modelagem e Perguntas-Guia.

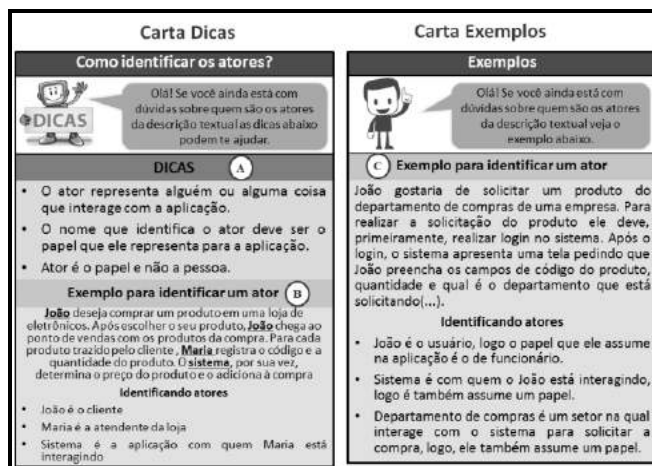


Figura 2. Exemplo das cartas Dicas e Exemplo.

Com o objetivo de verificar a efetividade da aprendizagem, motivação e experiência do usuário ao utilizar o jogo *ActGame*, realizou-se uma avaliação do jogo utilizando o modelo MEEGA proposto por Savi et al. (2011).



Figura 3. Pontuação e Regras utilizadas no jogo.

4. Avaliação do Jogo *ActGame*

Savi et al. (2011) afirmam que os jogos propostos com o objetivo de apoiar ao processo de ensino e aprendizado devem ser avaliados para garantir que os mesmos tenham um efeito positivo no aprendizado do jogador. Desta forma, para a avaliação do aprendizado com o jogo *ActGame*, foi utilizado o modelo MEEGA (Savi et al., 2011). A avaliação do jogo foi realizada com 29 alunos voluntários do 5º período do Curso de Ciência da Computação da Universidade Federal do Amazonas. Antes da avaliação do jogo, todos os alunos assistiram a um treinamento em que foi realizada uma breve contextualização sobre DA, além de uma contextualização sobre como seria realizada a avaliação. Após isso, os alunos foram convidados a assinar um termo de consentimento, no qual concordavam participar do estudo. Apesar dos vinte e nove alunos terem assinado o termo, apenas dezenove concordaram em responder o questionário de avaliação.

A avaliação ocorreu em duas etapas: (a) construção do diagrama utilizando o jogo; e (b) preenchimento do questionário de avaliação. Na primeira etapa, os alunos foram divididos em equipes definidas por conveniência, em que eles decidiram quais alunos fariam parte do seu grupo. Ao todo, foram formados seis grupos, com 4 ou 5 participantes por grupo. O tempo médio de utilização do jogo pelos participantes foi de 55 minutos (tempo mínimo 35 minutos; máximo 60 minutos). Isto indica que é viável a utilização do jogo durante uma aula. Na segunda etapa, 19 alunos responderam ao questionário do modelo MEEGA.

O MEEGA é um questionário padronizado proposto por Savi et al. (2011) que possibilita avaliar jogos educacionais. O questionário possui vinte e sete itens fixos divididos em três categorias (Motivação, Experiência do Usuário e Aprendizagem) e onze dimensões. Cada item do questionário é respondido em uma escala de Likert de cinco pontos com alternativas de resposta variando de discordo fortemente (-2) a concordo fortemente (2). Para avaliar o impacto na aprendizagem, o MEEGA ainda possui perguntas customizadas aos objetivos no jogo em que os alunos realizam uma autoavaliação sobre o conteúdo antes e depois de utilizarem o jogo. Além disso, Foi acrescentada três questões abertas para permitir um melhor entendimento das respostas dos participantes em relação às categorias: (a) “Do que você gostou no jogo”; (b) “Do que você não gostou no jogo?”; e (c) “O que você mudaria para melhorar o jogo”.

4.1. Análise dos Resultados da Categoria Motivação do MEEGA

Com relação à categoria Motivação, avaliou-se as seguintes dimensões: Satisfação, Confiança, Relevância e Atenção. A Figura 4 mostra as afirmativas relacionadas a cada uma das dimensões e o grau de concordância com relação a cada afirmação. No que diz respeito a dimensão Satisfação, 74% dos participantes concordaram que conseguiam avançar no jogo devido ao esforço pessoal. No item que avalia se o participante teria oportunidade de utilizar na prática o que foi aprendido no jogo (item 02), houve concordância de 58% dos participantes. O participante P08 comentou que gostou de “*como o jogo faz você identificar primeiros as swimlanes e as atividades antes de aplicar na prática*” e o participante P01 frisou que “*percebi que todos os integrantes da equipe estavam motivados para solucionar o desafio*”.

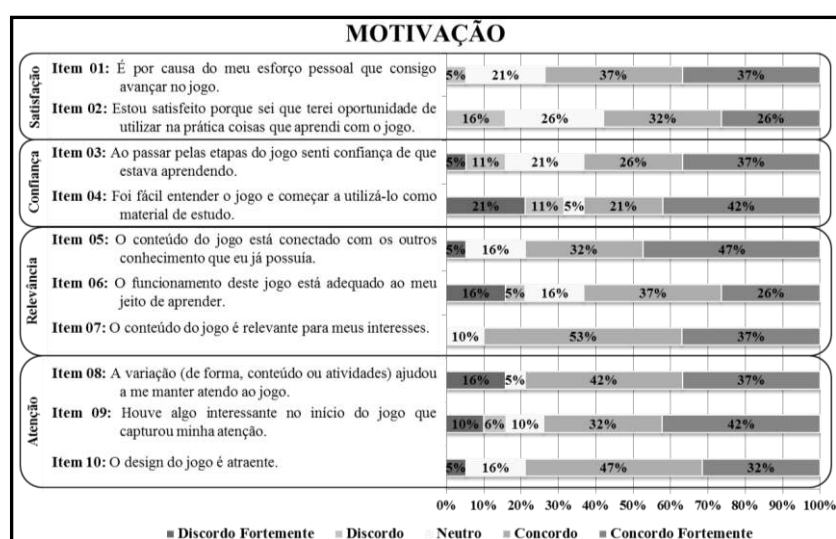


Figura 4. Gráfico de Avaliação da categoria Motivação.

No que se refere a dimensão Confiança, obteve-se 63% de concordância em seus dois itens: o aprendizado obtido ao passar pelas etapas do jogo (item 03) e se o jogo foi fácil de entender e começar a jogar (item 04). Apesar de não haver muitos participantes discordando ou permanecendo neutro, percebe-se que esta dimensão possuiu a maior quantidade de discordâncias. Logo, este aspecto do jogo merece ser melhor investigado junto aos alunos para buscar formas de melhorá-lo.

Sobre a dimensão Relevância, dois itens foram bem avaliados. O item que avalia se o conteúdo estava relacionado com outros conhecimentos que já possuíam (item 05), obteve concordância de 79% dos participantes. Enquanto que 63% dos participantes concordaram que o funcionamento do jogo é adequado. Além disso, 90% dos participantes concordaram que o conteúdo do jogo é importante para os interesses deles.

Por fim, quanto a dimensão Atenção, 79% dos participantes concordaram que a variação do jogo ajudou a mantê-los atentos e 74% dos participantes consideraram que houve algo que capturou a sua atenção ao jogo. Sobre o design do jogo, 79% consideraram que o design do jogo é atraente. O comentário do participante P12 reforça os resultados desta dimensão, pois, segundo ele, o jogo “*é uma atividade didática lúdica*”.

4.2. Análise dos Resultados da Categoria Experiência do Usuário do MEEGA

Nesta categoria foram avaliadas cinco dimensões: Competência, Diversão, Desafio, Interação Social e Imersão. A Figura 5 mostra as afirmações relacionadas a cada uma das dimensões e o grau de concordância com relação a cada afirmação. Com relação à dimensão Competência, 64% dos participantes tiveram sentimentos positivos de eficiência do jogo, enquanto que 84% afirmam que conseguiram atingir os objetivos do jogo por meio de suas habilidades.

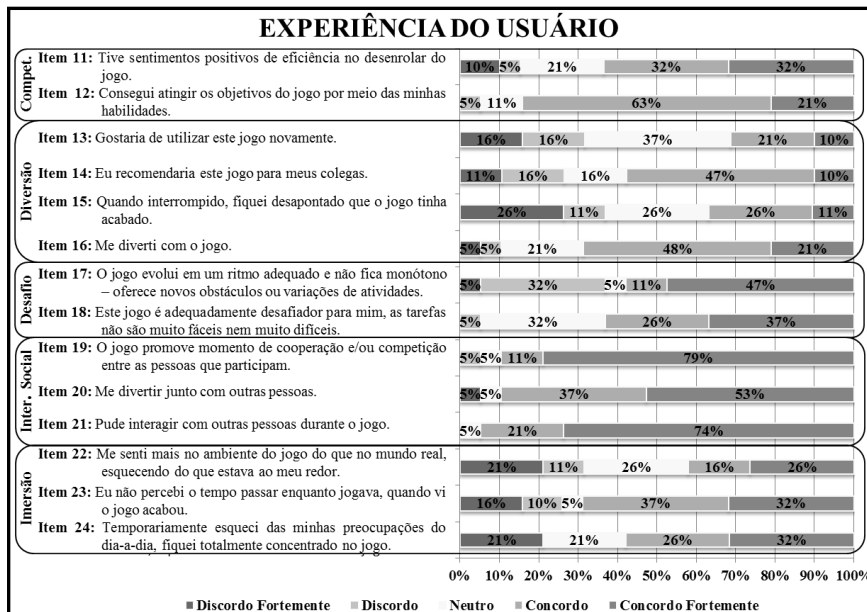


Figura 5: Gráfico de Avaliação da categoria Experiência do Usuário.

Na dimensão Diversão, dois itens foram bem avaliados. Entretanto, em outros dois, nota-se uma grande quantidade de participantes discordando ou permanecendo neutros. Para o item que avalia se os participantes gostariam de utilizar o jogo novamente (item 13), houve concordância por parte de apenas 31% dos participantes. Apesar desta baixa concordância, 57% dos participantes afirmaram que recomendariam o jogo para seus colegas. Já o item que avalia se os participantes ficaram desapontados com a interrupção do jogo (item 15), 37% dos participantes concordaram. No entanto, 69% dos participantes afirmaram que se divertiram com o jogo, tal fato foi ressaltado pelo participante P05, que gostou “*da maneira criativa que foi elaborada para aprendermos a modelagem*” do diagrama de atividades.

No que diz respeito à dimensão Desafio, 58% concordam que o jogo evolui em um ritmo adequado e não fica monótono, seja oferecendo obstáculos ou situações, conforme relatado no comentário do participante. Além disso, 63% afirmam que o jogo possui tarefas desafiadoras. Apesar deste item ter a maior porcentagem de discordâncias (32%) na dimensão Experiência do Usuário, o participante P09 avaliou positivamente o jogo: “*gostei da forma que o jogo fazia os integrantes interagirem para solucionar o problema junto com os obstáculos que apareciam no decorrer do jogo*”. Além disso, o participante P11 frisou que gostou do “*dinamismo e a agilidade do processo*” do jogo, avaliando positivamente a variação das atividades.

A dimensão Interação Social foi a melhor avaliada nesta categoria. Percebeu-se que 90% dos participantes concordaram em dois itens: no item que avalia se o jogo promove a cooperação e a competição entre as pessoas que participam (item 19) e no item que avalia se os alunos se divertiam com os outros participantes enquanto utilizavam o jogo (item 20). Com relação à interação com outras pessoas do grupo (item 21), houve uma concordância de 95% dos participantes. O participante P16 comentou que gostou da “*interação com o grupo e a discussão de ideias*” e o participante P03 frisou que gostou “*do forte espírito em equipe*” que o jogo proporciona. Além disso, o participante P17 afirmou que o jogo “*é dinâmico e envolve a percepção e a competitividade*” entre as equipes.

Para a dimensão Imersão, o item que avalia se o participante se sentiu mais no ambiente do jogo do que no mundo real, obteve uma concordância de apenas 42% (item 22). No entanto, 69% dos participantes não perceberam o tempo passar enquanto jogavam e 58% afirmam que esqueceram as preocupações enquanto estavam jogando.

4.3. Análise dos Resultados da Categoria Aprendizado do MEEGA

A Figura 6 apresenta o gráfico dos resultados da categoria Aprendizagem. Para essa categoria, houve uma concordância de 79% sobre o item que avalia se o jogo contribui para o desempenho profissional do participante (item 25). No item que avalia se o jogo foi eficiente para a aprendizagem dos participantes em comparação com outras atividades (item 26), houve uma concordância de 72%. Além disso, 79% dos participantes concordam que o jogo contribuiu para a aprendizagem na disciplina.

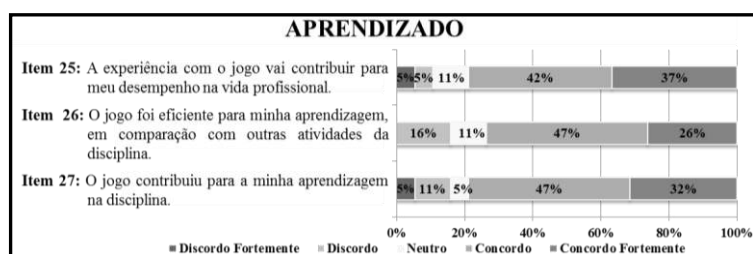


Figura 6. Gráfico de Avaliação da categoria Aprendizagem

Esses resultados são reforçados pelos comentários dos participantes. O participante P02 afirmou que “*(o jogo) proporcionou ótimo aprendizado*”. Já o participante P18 disse que “*as etapas do jogo facilitam no aprendizado*” e o participante P10 frisou que o jogo é “*uma alternativa ao padrão aula com slides. (o jogo é) bem criativo, conta com vários conceitos úteis para o desenvolvimento do conhecimento*”.

Savi et al. (2011) sugerem avaliar também a aprendizagem dos alunos através da autoavaliação em relação ao seu aprendizado sobre o conteúdo que foi ensinado. Os conceitos avaliados estavam relacionados aos elementos do DA e foram avaliados do ponto de vista de três objetivos, antes e depois de utilizar o jogo: (a) lembrar o que é, (b) compreender como funciona e (c) aplicar na prática. Os alunos deveriam atribuir uma nota de 1 a 5, onde 1 estava relacionado a “pouco conhecimento” e 5 a “muito conhecimento”. A Figura 7 apresenta o gráfico com as médias de autoavaliação da aprendizagem dos alunos em relação aos elementos do DA, antes e depois do jogo. É possível perceber que houve um aumento no nível de conhecimento dos alunos para

todos os elementos do DA. Este resultado é positivo, pois indica que o jogo alcançou seus objetivos em relação ao auxílio na aprendizagem de DA.

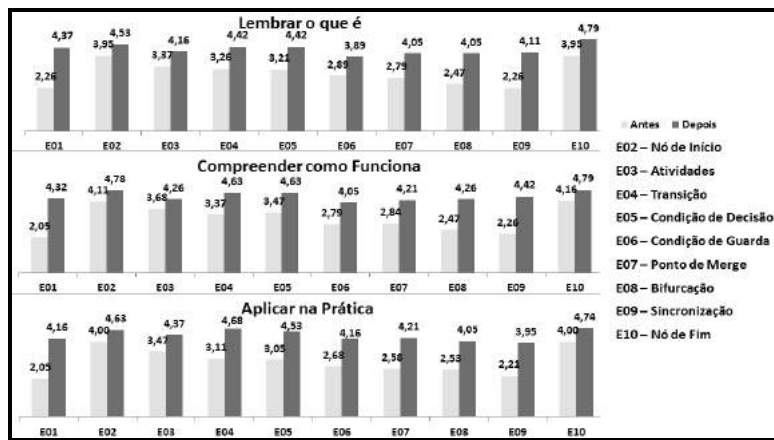


Figura 7. Gráfico das medidas de autoavaliação.

5. Considerações Finais e Trabalhos Futuros

Este artigo apresentou o jogo *ActGame (Activity Diagram Game)*, um jogo baseado em cartas, que tem como objetivo auxiliar no processo de ensino e aprendizagem de Diagrama de Atividades. Foi realizada também uma avaliação experimental inicial utilizando o modelo MEEGA, proposto por Savi et al. (2011).

Através dos resultados da avaliação do jogo, no que diz respeito à categoria Motivação, percebeu-se que o jogo teve efeito positivo. O design do jogo foi considerado atraente, o conteúdo relevante e conectado a outros conhecimentos, além de ter ajudado a manter os alunos atentos ao jogo. Em relação à categoria Experiência do Usuário, os resultados também mostraram que o jogo proporcionou uma experiência de uso relativamente positiva aos alunos, com destaque para a dimensão interação social. Além disso, os resultados mostraram que há indícios sobre a utilidade do jogo para a aprendizagem de DA. Este resultado também foi percebido na média das concordâncias dos participantes com relação à categoria Aprendizagem e na autoavaliação realizada pelos alunos. Apesar disso, observou-se também pontos de melhorias no jogo, tais como, melhorar o jogo para que os alunos se divirtam e se sintam imersos enquanto estiverem jogando e fazer com que os alunos se sintam seguros que estão modelando um DA de forma correto.

Baseado nisso, como trabalhos futuros pretende-se realizar uma nova versão do jogo, a fim de proporcionar um aumento nas competências dos estudantes. Além disso, pretende-se realizar um estudo comparando o uso do *ActGame* com outras abordagens de ensino. Espera-se desta forma, contribuir para a melhoria do ensino de diagrama de atividades em cursos de Computação no Brasil.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro da CAPES e da FAPEAM, através do processo 062.00578/2014; e a CAPES através do processo 175956/2013. Agradecemos também aos participantes do estudo e aos pesquisadores do USES-UFAM pelas contribuições na execução desta pesquisa.

Referências

- Al-Tahat, K. (2014). “An innovative instructional method for teaching object-oriented modelling”. In *Int. Arab Journal Information Technology*, v.11, n.6, p.540-549.
- Booch, G., Rumbaugh, J., e Jacobson, I. (2005). “Modeling Language User Guide”. In *The Addison-Wesley Objetc Technology Series (2nd Edition)*.
- Deterding, S., Sicart, M., Nacke, L., O’Hara, K., e Dixon D. (2011). “Gamification: Using Game Design Elements in Non-Gaming Contexts”. In *Annual Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, p. 2425-2428.
- Freeman, S., Eddy, S. L., McDonough, M., Smith, M. K., Okoroafor, N., Jordt, H., e Wenderoth, M. P. (2014). “Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics”. In *National Academy of Sciences of the United States of America*, v. 111, nº 23, p.8410-8415.
- Lethbridge, T. C. (2014). “Teaching modeling using Umple: Principles for the development of an effective tool”. In: *27th Conference on Software Engineering Education and Training (CSEE&T)*, p. 23-28
- OMG Unified Modelling Language Superstructure – version 2.3. <http://www.omg.org/spec/UML/2.3/>, 2010
- Petri, G., e Chiavegatti, N. C (2015). “Um Role Playing Game para o Ensino de Elicitação e Análise de Requisitos”. In *Revista Novas Tecnologias na Educação*, v.13, nº1, p. 01-10.
- Savi, R., Wangenheim, C., e Borgatto, A. (2011). “Um Modelo de Avaliação de Jogos Educacionais na Engenharia de Software”. In *XXV Simpósio Brasileiro de Engenharia de Software (SBES 2011)*, p. 194-203.
- Sien, V. (2010). “Teaching Object-Oriented Modelling using Concept Maps”. In *Journal Electronic Communications of the European Association of Software Science and Technology*, v. 34, p. 1-13.
- Silva, W., Steinmacher, I., e Conte, T. (2017). “ Um jogo educacional que apoia o ensino de Diagrama de Atividades”. In *Relatório Técnico TR-USES-2017-0009*. Disponível em: <http://uses.icomp.ufam.edu.br/relatorios-tecnicos/>.
- Souza, M. V. R., e França, C. (2016). “O que Explica o Sucesso de Jogos no Ensino de Engenharia de Software? Uma Teoria de Motivação”. In *24º Workshop sobre Educação em Computação*, p. 2255-2264.
- Szurlo, R., e Śmiałek, M. (2006). “Teaching software modeling in a simulated project environment”. In *International Conference on Model Driven Engineering Languages and Systems*, p. 301-310.
- Tourtoglou, K., e Virvou, M. (2008). “User stereotypes concerning cognitive, personality and performance issues in a collaborative learning environment for UML” In: *New Directions in Intelligent Interactive Multimedia*, p. 385-394
- Wangenheim, C. G. V., e Shull, F. (2009). “To game or not to game?”. In *IEEE Software*, vol. 26, nº. 2, p. 92–94.

Experimentando a Multidisciplinaridade no Desenvolvimento de Apps

Daniela F. Brauner¹, Raquel Janissek-Muniz¹, Lisandro Zambenedetti Granville^{3,4},
Karina Moura¹, Sandro Fetter², Gabriel Nazar^{3,4}

¹ Escola de Administração UFRGS - Departamento de Ciências Administrativas

² Escola de Arquitetura UFRGS - Departamento de Design e Expressão Gráfica

³ Instituto de Informática UFRGS - Departamento de Informática Aplicada

⁴ Sociedade Brasileira de Computação (SBC)

Porto Alegre, RS – Brasil

{daniela.brauner, rjmuniz, sandro.fetter, lisandro.granville}@ufrgs.br

Abstract. *This paper presents the App Challenge UFRGS 2016, a hackathon-style event, promoted to integrate students' expertise in Administration, Design and Computing. Combining students in multidisciplinary teams, the approach was to present a challenge to the development of mobile applications (Apps) over a weekend, including prototyping, business modeling and validation. The results demonstrate that multidisciplinary teams, focusing on viable products, can contribute in a complementary and collaborative way in the development of apps.*

Resumo. *Este artigo relata o App Challenge UFRGS 2016, um evento no estilo hackathon, promovido para integrar expertises de alunos de Administração, Design, e Computação. Combinando os estudantes em equipes multidisciplinares, a abordagem foi apresentar um desafio de desenvolvimento de aplicativos para dispositivos móveis (Apps) durante um final de semana, incluindo prototipagem, modelagem do negócio e validação. Os resultados demonstram que times multidisciplinares usando uma abordagem com foco em produtos viáveis podem contribuir de forma complementar e colaborativa no desenvolvimento de aplicativos.*

1. Introdução

As modernas práticas de gestão vêm transformando as formas de trabalho no desenvolvimento de software. A adoção de métodos ágeis para gestão de projetos (FRISHBERG; LAMBDIN, 2015), as técnicas de modelagem de problemas via Design Thinking (BROWN, 2010) e seu uso para levantamento de requisitos (BERNAL, 2016) e a prototipagem rápida de mínimos produtos viáveis (CAROLI, 2015) exigem que os profissionais, em geral da computação, sejam flexíveis e multifuncionais. Num mesmo projeto, além de atender às demandas técnicas (de desenvolvimento, teste e operação de infraestrutura, atividades típicas de profissionais de TI), os membros dos times também

devem realizar a elicitação de requisitos junto aos clientes, compreensão e modelagem do mercado e do negócio, bem como a validação do produto resultante. Tarefas estas que poderiam ser delegadas a pessoas com formações complementares.

Um *hackathon* é um evento de programação em Computação focado em problemas (TOPI e TUCKER, 2014) que encoraja a experimentação e a criatividade, aspectos essenciais à inovação (BRISCOE e MULLIGAN, 2014). *Hackathons* vêm sendo promovidos com bastante frequência em universidades, empresas ou como desafios de órgãos públicos, como forma de engajar times de desenvolvimento de forma intensa e desafiadora durante um curto período de tempo. A abordagem de envolver múltiplas competências nos times dos *hackathons* é relativamente nova (BRAUNER et. al, 2016), visto que anteriormente apenas profissionais da Computação eram envolvidos na maioria dos eventos do tipo.

Com base nas experiências anteriores e no intuito de testar e evoluir a aplicação de técnicas de desenvolvimento de software com times multidisciplinares, este artigo descreve a experiência do App Challenge UFRGS 2016. Na seção 2, é apresentado o modelo do evento, etapas e critérios utilizados. A seção 3 relata o processo base de desenvolvimento apresentado como sugestão aos times de desenvolvimento. Os resultados são apresentados na seção 4. Para finalizar, a seção 5 apresenta as conclusões e considerações futuras.

2. O Modelo do Evento

O App Challenge UFRGS 2016 ofereceu aos alunos um desafio durante um final de semana, incluindo prototipagem, modelagem do negócio e validação. A abordagem foi a de agrupar alunos da UFRGS em equipes multidisciplinares para transformar ideias submetidas pela comunidade em soluções inovadoras baseadas em Apps com planos de negócio. As equipes, acompanhadas por professores e mentores, exploraram a experimentação prática e multidisciplinar, o trabalho colaborativo e a contribuição social a partir em duas trilhas temáticas: segurança pública e impacto social. O evento ocorreu de 30 de setembro a 2 de outubro de 2016, e seguindo o modelo apresentado na Figura 1.



Figura 1: Modelo representando a dinâmica do evento.

As etapas do modelo apresentado na Figura 1 são:

- **Submissão de ideias** - Chamada pública para submissão de ideias em duas trilhas temáticas: Segurança Pública e Impacto Social.
- **Seleção de ideias** - As ideias foram selecionadas por um comitê de professores, alunos e profissionais das áreas envolvidas no evento. A avaliação utilizou critérios como criatividade e inovação, viabilidade de implementação, viabilidade de negócio, impacto (social, ambiental ou econômico) e clareza.
- **Inscrições dos participantes e formação das equipes** - Alunos matriculados nos cursos de Administração, Design, Ciência e Engenharia da Computação (graduação e pós-graduação) se inscreveram no evento, informando, por ordem de preferência, as ideias que desejavam participar. As equipes foram organizadas previamente, incluindo alunos de todas as áreas, priorizando as inscrições por ordem de chegada e preferências de ideias indicadas pelos alunos.
- **Maratona de desenvolvimento** - A Maratona ocorreu no Nós Coworking que forneceu a estrutura necessária, atuando como co-realizador do evento. O primeiro dia iniciou com palestras e foi seguido pela formação dos times, iniciando os elementos estruturadores para ideação das suas soluções. A partir do 2º dia (sábado), as equipes retornaram ao local para desenvolvimento das ideias. Os alunos puderam permanecer no local durante a madrugada, se assim desejassem, até o dia seguinte (3º e último dia do evento). Professores também permaneceram no local.
- **Apresentação dos Pitches** - *Pitches* de 5 minutos foram apresentados pelos times e avaliados por um comitê formado por professores e profissionais das áreas, além de representantes das entidades envolvidas na realização e empresas patrocinadoras.
- **Demonstrações** - O comitê de avaliação visitou os espaços de trabalho de cada equipe, podendo questionar as equipes e utilizar os protótipos desenvolvidos.
- **Avaliação e premiação** - O comitê se reuniu e elegeu uma equipe vencedora para cada trilha, baseando-se nos *pitches* e na avaliação dos protótipos. O comitê discutiu os resultados subjetivamente com base nos seguintes critérios: (i) Inovação: quanto às soluções propostas (negócio, design e tecnológicas); (ii) Organização: quanto à gestão interna do time durante o desafio relacionado à gerenciamento das atividades,

processo de desenvolvimento e escopo atingido; (iii) Qualidade: quanto ao protótipo desenvolvido, identidade visual e modelagem do negócio; (iv) Apresentação; e (v) Viabilidade de tornar-se um produto.

3. Processo de Desenvolvimento Sugerido

Com o passar dos anos, as técnicas de desenvolvimento de software tem evoluído. Desde o modelo em cascata, onde o software era construído de forma sequencial, até as atuais metodologias ágeis, onde o software é incrementalmente evoluído (SOMMERVILLE, 2011). As modernas técnicas de modelagem de problemas via Design Thinking (BROWN, 2010) vêm sendo aplicadas para levantamento de requisitos (BERNAL, 2016), trazendo contribuições importantes para os times de desenvolvimento. A prototipagem rápida de mínimos produtos viáveis (CAROLI, 2015), para validação dos protótipos intermediários em conjunto com metodologias ágeis de desenvolvimento de software (SCHWABER e BEEDLE, 2002), exige que os profissionais, em geral da Computação, sejam flexíveis e multifuncionais.

Neste contexto, o primeiro dia do evento iniciou com palestras introdutórias sobre os principais conceitos que englobam o processo de desenvolvimento sugerido. Entre eles: UX (*User Experience*), mostrando a importância de modelar o comportamento dos usuários para mapear suas necessidades reais; Cultura de desenvolvimento ágil, mostrando a importância do foco na entrega em ciclos curtos de desenvolvimento; e, MVP (*Minimum Viable Product*) e suas funcionalidades, mostrando a importância de planejar entregas pequenas e viáveis, pensando sempre na relevância do entregável sob a perspectiva do usuário, qualidade e viabilidade. Não foi feita uma palestra sobre Business Model Canvas ou BM Canvas (OSTERWALDER e PIGNEUR, 2009), embora ele seja parte do processo proposto, devido a disponibilidade de mentores no tema ao longo de todo evento.

Para consolidar o modelo proposto, foram apresentados aos times de desenvolvimento um conjunto de materiais e disponibilizados mentores especializados nos temas, para que os times pudessem adotar uma metodologia de desenvolvimento ágil baseada nos componentes propostos. O modelo é brevemente apresentados na Figura 2.



Figura 2: Processo de desenvolvimento sugerido.

A metodologia sugerida inicia pelo mapeamento *personas* relacionadas à ideia. Todos os componentes dos grupos trabalharam no mapa de empatia (Gray et al., 2010). A partir daí os times foram orientados a preencher uma versão inicial do Canvas MVP (CAROLI, 2015), para que planejassem um mínimo produto viável. Nessa etapa, é essencial a presença de pelo menos um dos programadores e um dos designers, para que as funcionalidades mínimas sejam validadas tecnicamente dentro do prazo de desenvolvimento, mas a presença dos administradores é essencial para garantir que tais funcionalidades atendam à validação do negócio. Os administradores também foram essenciais para criação das métricas de validação, custos e cronograma. Os designers contribuíram sobremaneira na definição de jornadas de usuário, visto seus conhecimentos em User Experience. De posse dos requisitos, os designers e programadores partiram para o desenvolvimento do primeira versão do protótipo que atendesse ao MVP planejado. Enquanto isso, os administradores partiram para a modelagem do negócio, usando o modelo do Business Model Canvas (BM Canvas), buscando intervenções dos demais integrantes quando necessário. Ao finalizar o BM Canvas, os resultados foram compartilhados e validados entre todos os integrantes, de forma a realimentar os requisitos e auxiliar na validação do MVP.

Para validação, cada time determinou a sua, de forma mais pertinente ao foco de seus aplicativos. Muitos escolheram validar a proposta de negócio com foco nas funcionalidades do MVP, mesmo sem utilizar o protótipo criado, enquanto outros optaram por apresentar o protótipo e validar com base no uso e nas jornadas dos usuários já implementadas.

4. Resultados

4.1 Execução

Ao todo, foram submetidas 28 ideias, sendo 74,1% para a trilha de impacto social e 25,9% para a trilha segurança pública. Como a submissão de ideias era pública, das ideias submetidas por alunos da Universidade, 33,3% foram oriundas de estudantes do curso de Administração, 11,1% de alunos da Computação e 7,4% de Design. A seleção das ideias foi realizada elencando-se as 5 propostas mais bem avaliadas de cada uma das trilhas.

Durante o período de inscrições, obteve-se 75 inscrições de alunos da Universidade. As inscrições foram bem distribuídas quanto às áreas de atuação (nas 3 disciplinas envolvidas no evento) e quanto ao gênero dos inscritos apresentando uma pequena prevalência com relação aos inscritos do sexo masculino em 54,7%. Ao todo, 53 alunos compareceram ao evento formando os dez times conforme apresentado na Figura 3. Supõe-se que a alta taxa de evasão (*i.e.*, 30%) foi devido à coincidência de datas com as eleições municipais, à gratuidade das inscrições (que implica em um baixo comprometimento de comparecimento) e à falta de informação sobre a dinâmica do evento, explicitando a necessidade de aprimoramento na divulgação do mesmo.

Durante todo o evento, tivemos 99 pessoas presentes, entre participantes das equipes, convidados, mentores, organizadores, palestrantes e representantes dos patrocinadores. Destes, 24 atuaram como mentores. Nas mesas, foram disponibilizados os modelos impressos relacionados ao processo de desenvolvimento sugerido. Os estudantes levaram computadores e softwares necessários para os desenvolvimentos.

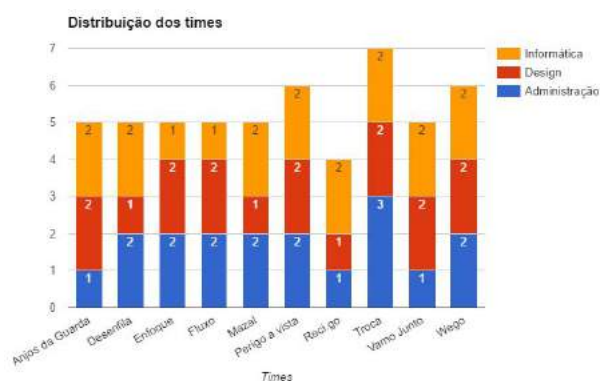


Figura 3: Distribuição dos participantes por time.

Após os *pitches* e visitas às demonstrações, a comissão de avaliação elencou um vencedor para cada trilha. Dentre os prêmios, um time recebeu vouchers para uso do espaço físico, com apoio para desenvolvimento do negócio oferecidos pelo coworking parceiro da realização do evento e o outro recebeu apoio especializado na organização do negócio e suporte para desenvolvimento da ideia junto à uma das incubadoras da Universidade, além de brindes e cursos oferecidos pelos patrocinadores e apoiadores. Todos os participantes das demais equipes receberam medalhas e outros prêmios relativos aos desafios promovidos ao longo do evento.

Com relação ao processo de desenvolvimento sugerido, 100% dos times adotaram em sua totalidade as ferramentas propostas e aplicaram o modelo conforme sugerido. Segundo relatos, em especial dos alunos da Computação, num mesmo projeto seguindo outra formação de time mais homogênea com colegas da Computação, eles precisariam atuar em todas as etapas, mesmo sem conhecimento. No processo proposto eles puderam focar em atender as demandas técnicas (de desenvolvimento, teste e operação de infraestrutura, atividades típicas de profissionais da área), e contribuíram na modelagem e validação dos resultados, aprendendo bastante com os colegas da administração e design. Segundo eles, dividir as tarefas de elicitação de requisitos, compreensão e modelagem do mercado e do negócio, bem como a validação do produto resultante, foi essencial para atingimento da meta: de obter um produto viável. Atividades de validação como a “pesquisa de campo” realizada por alguns grupos, foram essenciais para alteração de funcionalidades, melhorias nas jornadas de usuário e adequações do plano de negócios. Tarefas estas que foram delegadas a pessoas com formações complementares presentes nos times de desenvolvimento.

4.2 Avaliação

Ao final do evento, foi proposta uma atividade para promover o diálogo e a troca de experiências entre os participantes. Para isto, utilizou-se a técnica de *fishbowl* (MELO, 2013). A pergunta central foi “o que esse modelo de trabalho proporcionou para você e para sua profissão?”. Os depoimentos demonstraram que eventos deste tipo permitem aos estudantes uma maior compreensão do que é esperado deles no ambiente de trabalho, mostrando o quanto a universidade contribui para o conhecimento aplicado. Muitos depoimentos evidenciaram que a maioria dos estudantes ainda não tem certeza sobre seu desenvolvimento vocacional e área escolhida, mas a característica multidisciplinar das equipes viabilizou contribuições importantes, motivando os

participantes com relação ao valor de seus conhecimentos e a valorização da sua profissão. A possibilidade de compartilhar conhecimentos complementares nos times quebrou paradigmas entre as profissões e demonstrou a importância de se ter pessoas qualificadas em áreas diferentes para desenvolver um mesmo projeto.

Também foi criado um formulário Web que obteve 51 respostas. Na visão de 100% dos respondentes, o evento acrescentou conhecimentos relacionados à sua área de atuação. 58,6% deles consideram que aprenderam muito sobre conceitos de outras áreas e 37,9% aprenderam algo. Em sua maioria, os participantes querem dar continuidade às ideias desenvolvidas no evento, onde apenas 7,1% não querem dar continuidade. Os demais elencaram como essenciais mais tempo, treinamento e mentoria.

A Figura 4 apresenta também a receptividade do modelo de formação dos times. Mais de 93% dos respondentes gostaram de serem alocados em times onde não conheciam os outros integrantes. Em relação ao envolvimento das três áreas (Administração, Design e Informática), os respondentes foram unânimes na aceitação do modelo adotado. Além disso, entre os comentários, haviam sugestões de envolvimento de outras áreas em futuras edições do evento.

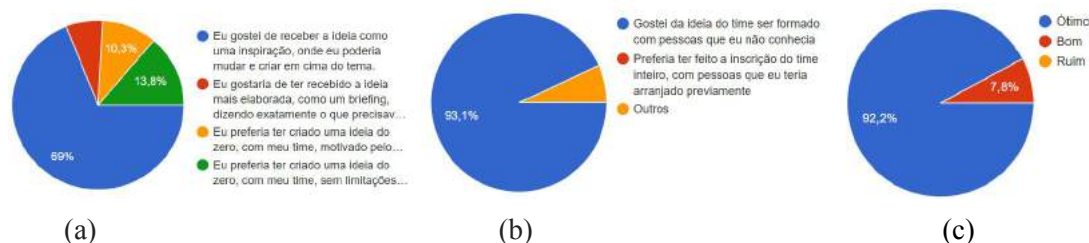


Figura 4: Receptividade do modelo do evento: (a) sobre as ideias, (b) sobre a formação dos times e (c) sobre o envolvimento das três áreas.

5. Conclusões

Este artigo apresentou o App Challenge UFRGS 2016, um evento realizado com o objetivo de promover uma experiência universitária multidisciplinar e aplicada. Além dos objetivos propostos pelo desafio de gerar aplicativos viáveis, o evento buscou apresentar aos participantes a importância e o impacto do trabalho multidisciplinar.

As equipes foram encorajadas a trabalhar compartilhando suas habilidades e conhecimentos específicos no desenvolvimento dos aplicativos. Ainda que muitos dos participantes não tivessem noções anteriores sobre desenvolvimento de software, a

multidisciplinaridade entre os componentes provou a importância de se ter perfis complementares para o desenvolvimento e a validação de um produto mínimo viável.

Para os estudantes, passar por esta experiência de planejamento, execução e apresentação de um produto foi uma oportunidade tanto de validação da escolha profissional, quanto de perceber as capacidades e habilidades desenvolvidas durante o processo de aprendizagem em sala de aula. Além disso, o trabalho em equipe, o tempo limitado e os desafios propostos exigiram dos alunos flexibilidade, adaptação e comprometimento para que, em equipe, pudessem obter um resultado satisfatório ao final do evento.

A atuação dos perfis multidisciplinares no processo de criação do produto, tal como o envolvimento dos administradores para a validação da viabilidade e modelagem do negócio, os designers no desenvolvimento da experiência de usuário e os programadores com as informações sobre viabilidade e potenciais dificuldades técnicas, teve um impacto positivo: os estudantes puderam perceber o valor de suas habilidades. Na formação de equipes com 2 profissionais de cada área, os membros tomaram decisões mais objetivas e seguras quanto às atividades e desenvolvimento do projeto. Ainda assim, outras experiências são necessárias para confirmar, com base numa quantidade maior de dados, a formação ideal dos grupos com tal interdisciplinaridade.

Como resultado, o processo de desenvolvimento sugerido foi adotado em sua totalidade pelos participantes, evidenciando que habilidades distintas podem contribuir sobremaneira no desenvolvimento de aplicativos. Alunos da administração contribuíram em especial no levantamento de requisitos, modelagem das funcionalidades iniciais e avaliação do protótipo desenvolvido, através de técnicas de Design Thinking como mapeamento de personas, perfis de clientes, modelagem do MVP e validação do negócio através do Business Model Canvas, devolvendo *feedbacks* importantes para a implementação dos aplicativos e modelagem de interação de usuário. Os profissionais de design contribuíram para o mapeamento dos perfis de clientes, apoiando no processo de levantamento de requisitos e MVP, através da modelagem de jornadas de usuário empregando técnicas de User Experience, além de auxiliarem na validação e modelagem do negócio. Os alunos de computação, para implementação dos protótipos,

tiveram que modelar e desenvolver um amplo entendimento sobre clientes, demandas e suas jornadas, contribuindo sobremaneira na definição das funcionalidades possíveis de implementação no prazo estipulado, que atendessem às demandas do negócio.

Para o futuro, pretende-se aprimorar o modelo e aplicá-lo em outras cidades, universidades ou até mesmo em novos eventos na mesma universidade. Dentre as melhorias potenciais são: a criação de métricas para aferição do impacto do evento e do modelo na comunidade, encaminhar os resultados gerados para potenciais investidores e atores do ecossistema de empreendedorismo, e incluir ou variar as áreas envolvidas, seja dando uma temática ao evento ou apenas buscando agregar outras *expertises* técnicas.

Referências

- BERNAL, G. (2016) Especificação de requisitos de sistemas inteligentes assistidos: uma abordagem design thinking. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio grande do Sul.
- BRAUNER, D.F.; MARGREFF, P.; TAVARES, T.; da COSTA, V. K.; SILVA, A. (2016) Estímulo à prática multidisciplinar no ensino de Computação e Design através de um evento de programação focado em problemas. Proceedings of the WEI'2016 - CSBC. Porto Alegre RS. Julho, 2016.
- BRISCOE, G. and MULLIGAN, C. (2014) Digital innovation: The hackathon phenomenon. London: Creativeworks London Work Paper 6.
- BROWN, T. (2010) Design Thinking - Uma metodologia poderosa para decretar o fim das velhas ideias. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.
- BARDAGI, M. P.; LASSANCE, M. C. P.; PARADISO, A. C. (2003) Trajetória Acadêmica e Satisfação com a Escolha Profissional de Universitários em Meio de Curso. Revista Brasileira de Orientação Profissional, ISSN 1984-7270, SP, v.4, n.1-2, Dezembro, 2003.
- CAROLI, P. (2015) Direto ao Ponto: Criando produtos de forma enxuta. São Paulo: Editora Casa do Código, 2015.
- FRISHBERG, L.; LAMBDIN, C. (2015) Presumptive Design: Design Provocations for Innovation. New York: Elsevier Science & Technology, 2015.
- GONDIM (2002) Perfil profissional e mercado de trabalho: relação com a formação acadêmica pela perspectiva de estudantes universitários. Estudos de Psicologia 2002, 7(2), 299-309.
- GRAY, D., BROWN, S. and MACANUFO, J. (2010). Gamestorming – A playbook for innovators, rulebreakers and changemakers. Sebastopol, CA: O'Reilly Media, Inc.
- TOPI, H. and TUCKER, A. (2014) Computing Handbook. Third Edition: Information Systems and Information Technology. CRC Press, 2014.
- IOWA UNIVERSITY (2015) SI Showcase: the basic collaborative learning techniques. Supplemental Instruction. Iowa State University. Iowa, USA, 2005.
- KLEIN, J.T. (1990) Interdisciplinarity: History, theory, and practice. books.google.com
- MELO, R.C. (2013) Collaborative Learning Topics for Teaching activities at Higher Technological Education in Tekhne e Logos, Botucatu, SP, v.4, n.2, Agosto, 2013.
- OSTERWALDER, A. and PIGNEUR, Y., (2009) Business Model Generation, A Handbook for Visionaries, Game Changers, and Challengers. Amsterdam: OSF.
- SCHWABER, K. and BEEDLE, M. (2002) Agile Software Development with Scrum. Upper Saddle River, NJ : Prentice-Hall.
- SOMMERVILLE, I. (2011) Engenharia de Software. 9ª edição. São Paulo, SP : Pearson Education do Brasil.

Programação para todos: Análise Comparativa de Ferramentas Utilizadas no Ensino de Programação

Silvino M. da Silva Junior¹, Sônia V. Alves França²

¹Campus Floriano – Instituto Federal do Piauí (IFPI)
CEP – 64.808-753 – Floriano – PI – Brazil

²Programa de Pós-Graduação em Tecnologia e Gestão em Educação a Distância
Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) – Recife, PE – Brazil

silvinomarques@ifpi.edu.br, soniafranca@gmail.com

***Abstract.** The expansion of computer programming teaching to different audiences and areas is an eminent reality, and, at the same time, subjects related to Computer programming courses presents more learning difficulties by the students. This article aims to analyze and make a comparison with some tools that were proposed in previous papers and that are used in the Teaching of this subject to observe if these tools supply this new reality of the initial teaching of programming for children and young people. It was observed that although some of the projects found in the computer programming literature are extremely successful, some deficiencies can still be noticed.*

***Resumo.** A expansão do ensino de programação de computadores para diferentes públicos e áreas é uma realidade eminente, ao mesmo tempo que os assuntos relacionados a essa disciplina são considerados campeões em apresentar dificuldades de aprendizagem por parte dos estudantes. Este artigo tem por objetivo analisar e fazer um comparativo com algumas ferramentas que foram propostas em trabalhos anteriores e que são utilizadas no ensino dessa disciplina, buscando observar se essas ferramentas atendem a essa nova realidade do ensino inicial de programação para crianças e jovens. Observou-se que embora alguns dos projetos encontrados na literatura sejam extremamente exitosos, ainda se pode notar algumas deficiências.*

1. Introdução

O ensino de programação tem se tornado cada vez mais importante no trajeto escolar das pessoas, não se limitando a acadêmicos dos cursos de computação, mas atingindo a todas as áreas e faixas etárias, em particular as crianças e jovens. Proporcionando um melhor entendimento e utilização das tecnologias computacionais atuais, e permitindo o desenvolvimento do raciocínio lógico e a capacidade de resolução de problemas.

Atualmente, em alguns países desenvolvidos, como é o caso do Reino Unido, as disciplinas de programação já pertencem ao currículo escolar, abordando temas como pensamento computacional, lógica e algoritmos. (PAULA; VALENTE; BURN, 2014).

Existem também várias iniciativas mundiais voltadas para disseminação do aprendizado de programação, como o *Code.org*¹ e o *Khan Academy*².

No Brasil, apesar de ainda em fase inicial e apenas em alguns estados, já existem escolas adotando esse modelo. Recentemente, o prefeito da cidade de São Paulo anunciou que pretende implementar aulas de programação nas escolas administradas pelo município através de uma parceria entre a prefeitura e o Ministério da Educação para equipar as unidades escolares e promover o ensino de programação no currículo. (DORIA, 2017).

Entretanto, em vários trabalhos sobre aprendizagem de programação, foram encontrados exemplos da dificuldade de conhecer e se habituar aos ambientes e às linguagens, tarefa considerada difícil e que necessita de muito tempo e esforço por parte dos estudantes e, dos docentes.

As disciplinas de Lógica de Programação e Algoritmos e Programação podem ser ensinadas de diversas formas, cuja metodologia tradicional ainda prevalece, na qual o professor transmite conhecimentos e soluções de diversos problemas e o aluno recebe essas informações sem discutir e/ou criar as próprias soluções.

O uso de recursos como animações e vídeos torna-se facilitador do processo de aprendizagem, visto que a apresentação de conceitos abstratos é mais didática, melhorando a qualidade do material de apoio à aula (TAVARES et al., 2016).

Neste contexto, surgiram os seguintes questionamentos, que instigaram o desenvolvimento deste artigo: As ferramentas disponíveis e utilizadas atualmente estão aptas a atender essa nova demanda e público? Essas ferramentas possuem características necessárias para a aprendizagem inicial de programação?

O presente trabalho tem caráter qualitativo e realizou-se através de uma pesquisa bibliográfica sobre os softwares e ferramentas tecnológicas existentes que auxiliam os professores no ensino de algoritmos e programação. Dentre os softwares estudados, destacaram-se: *Feeper*, *WH-IDE*, *TutorICC*, *Portugol Studio*, *AAPW*, *TSTView*, *The Huxley*, *SOAP* e *Scratch*.

2. Ferramentas Utilizadas no Ensino de Programação

Esta seção aborda algumas ferramentas tecnológicas existentes que são utilizadas no apoio ao ensino das disciplinas de programação, abordando suas principais características, pontos positivos e negativos.

As ferramentas foram selecionadas com base em Revisões Sistemáticas da Literatura realizadas por Silva et al. (2015) e Ramos et al. (2015), que analisaram iniciativas brasileiras na criação de ambientes de aprendizagem de programação, nos principais eventos brasileiros da área, que englobam o Congresso Brasileiro de Informática na Educação (CBIE) e a Revista Brasileira de Informática na Educação (RBIE). Foi excluída deste trabalho a avaliação de softwares criados antes de 2010.

¹ <https://code.org/>

² <http://www.khanacademy.org/>

2.1 Ambiente Virtual Feedback Personalizável (Feeper)

O Feeper é um ambiente virtual para apoiar o ensino/aprendizagem de programação no ensino superior. Utiliza um mecanismo para melhorar a comunicação entre aluno e professor, permitindo sinalizar partes do código fonte (ALVES; JAQUES, 2014).

A ferramenta funciona com o envio do código fonte produzido pelo estudante para validação de um Juiz On-line. Este então solicita ao banco de dados os testes existentes para o exercício que está sendo respondido. O Juiz On-line compara a resposta gerada pelo programa enviado com as respostas esperadas. Caso haja divergência, uma mensagem personalizada de alerta é emitida, contendo orientações para que este consiga resolver o problema gerado, do contrário, então o programa é aceito e a resposta de sucesso é emitida ao estudante.

O feedback fornecido pelo Juiz On-line foi personalizado para apresentar mensagens que indiquem onde aconteceu o erro, por que ele aconteceu e como corrigi-lo e para permitir a execução de diferentes tipos de teste no programa implementado (ALVES; JAQUES, 2014).

Através do *Feeper* o aluno pratica conceitos de programação orientada a objetos, utilizando a linguagem Java. Além da correção automática, a ferramenta emite dicas sobre os erros gerados pelo programa do aluno permitindo que o mesmo possa adicionar marcações em seu programa que serão exibidas ao professor. (ALVES; JAQUES, 2014).

2.2 Ambiente Personalizável para Aprendizado de Programação – WH-IDE

É um ambiente para ensino de programação de computadores, no qual os estudantes programam os algoritmos em português. O professor define todas as instruções que estarão à disposição dos aprendizes, personalizando, assim, a linguagem a ser utilizada e ignorando o máximo de detalhes técnicos. (FRANTZ; PONTES, 2014).

A ferramenta possui algumas limitações: ela não captura possíveis erros de sintaxe existentes no código, pelo fato de usar o compilador da linguagem Java para a geração do programa executável, além de não possuir depurador visual e área para exibição das variáveis criadas em memória (FRANTZ; PONTES, 2014).

2.3 Ambiente Interativo e Adaptável para ensino de Programação - TutorICC

O TutorICC é um ambiente interativo e adaptável utilizado para o ensino de programação em Pascal. O conteúdo está dividido em níveis de dificuldade, permitindo ao estudante estabelecer o caminho mais conveniente para ele, dentro do conteúdo da disciplina (PÍCCOLO et al., 2010).

Há grande interatividade com o aprendiz, a cada passo é apresentado a ele um problema, para que construa um programa. Esses programas são corrigidos imediatamente pelo TutorICC, que recomenda ao estudante o melhor caminho a seguir dentro do conteúdo da disciplina.

A ferramenta foi desenvolvida utilizando a linguagem Java. A principal contribuição desta em relação aos demais trabalhos encontrados na literatura, é que permite que o professor personalize a apresentação visual em cada exemplo. Pode

escolher posição, tamanho e cor de cada uma das variáveis, dispendo-as da forma que achar mais didática para captar a atenção dos alunos (PÍCCOLO et al., 2010).

2.4 Portugol Studio

O Portugol Studio é um Ambiente Integrado de Desenvolvimento (IDE) para auxiliar a aprendizagem de algoritmos para iniciantes. Foi desenvolvida no idioma português, facilitando o acesso ao público com baixa fluência no idioma inglês (NOSCHANG et al., 2014).

A IDE possibilita o desenvolvimento, a execução e a depuração de programas escritos em Portugol, sendo eficaz para iniciantes em programação, principalmente por utilizar o português como língua nativa (ANIDO, 2015).

O fato de ser um aplicativo para desktop dificulta um pouco para que o estudante possa praticar em casa, pois é necessário instalar as ferramentas do ambiente (editor, compilador, IDE, etc.), o que pode ser uma tarefa complexa (ANIDO, 2015).

2.5 Ambiente de Aprendizagem de Programação *Web* - AAPW

O AAPW permite o aprendizado de conceitos envolvidos na programação *Web*, de forma simples e objetiva, podendo ser utilizada como recurso auxiliar em disciplinas de cursos que abordam desenvolvimento *Web*. (GOMES; D'EMERY; FILHO, 2014).

A ferramenta possui uma IDE de programação desenvolvida em Java, que é composta de barra de ferramentas; das telas de edição do programa fonte e do código compilado; de um browser para visualizar as páginas desenvolvidas; e de um console que exibe mensagens de erros presentes no código pertencente ao programa fonte.

A ferramenta trabalha com formulários, não necessita de *tags* no código e utiliza instruções simples com comandos em português. A IDE propicia ao usuário a visualização tanto do código construído em português quanto da codificação gerada, a qual pode ser interpretada em um browser. (GOMES; D'EMERY; FILHO, 2014).

2.6 Ferramenta de Acompanhamento de Exercícios de Programação - TSTView

O TSTView permite acompanhar o desempenho dos estudantes em um certo período de tempo, além de monitorar em tempo real o desenvolvimento dos estudantes frente aos exercícios planejados possibilitando detectar, com mais facilidade e eficiência, dificuldades individuais dos estudantes, dificuldades comuns a grupos de estudantes e dificuldades gerais da turma (GAUDENCIO, 2013).

Os estudantes respondem aos exercícios propostos utilizando a linguagem de programação Python e submetem a um testador automático que aplica os testes criados pelos professores para as questões propostas. Os dados de controle e os resultados dos testes aplicados as submissões compõem a sua base de dados.

A ferramenta possui dois módulos principais, o do professor e o do aluno. O primeiro exibe uma lista dos aprendizes que estão realizando alguma atividade no momento da consulta. Já o segundo, exibe um relatório histórico individual para cada um deles (GAUDENCIO, 2013).

Ao submeter uma solução, o estudante recebe feedback na forma de resultados de testes sobre seu código, podendo visualizar que tipos de erros ele cometeu e o número de casos de teste em que falhou.

2.7 Ferramenta para a Avaliação de Aprendizado de Alunos em Programação de Computadores - The Huxley

The Huxley é uma ferramenta *web* que permite aos estudantes responderem a exercícios de uma base de dados com centenas de problemas e submeterem às respostas através de código em diversas linguagens de programação.

O ambiente corrige os exercícios automaticamente através de análise sintática do código e testes de aceitação e emite feedback. O professor tem acesso à quantidade de problemas resolvidos, porcentagem de acertos/erros, tipos de problemas com mais erros, detecção de plágio e erros específicos de cada aluno (PAES, 2013).

Através do ambiente, o docente faz uma avaliação personalizada do aluno, baseada na identificação de erros específicos durante as avaliações. A definição e correção de exercícios e provas, verificação de plágio, definição de notas e publicação dos resultados pode ser feita automaticamente através do The Huxley (PAES, 2013).

2.8 Sistema On-line de Atividades de Programação - SOAP

É um sistema *web* que possibilita ao professor disponibilizar tarefas para as turmas e, ao aluno, realizar submissões de exercícios. Os exercícios submetidos, que são programas de computador em Linguagem C, são compilados e executados em um servidor remoto, gerando relatórios que são disponibilizados aos professores.

As atividades são processadas pelos núcleos (Núcleo de Avaliação Diagnóstica NAD) e Núcleo de Avaliação Formativa (NAF). O NAD processa essas atividades, gerando planilhas e mapas de perfis de aprendizagem, o NAF, com base no diagnóstico fornecido pelo NAD, recomenda atividades diretamente para que os estudantes com dificuldades possam melhorar os desempenhos (OLIVEIRA; OLIVEIRA, 2014).

O software combina técnicas de reconhecimento de padrões para classificar alunos e recomendar-lhes atividades conforme os seus perfis e possibilita ao docente realizar melhor gestão da aprendizagem individual de seus estudantes (OLIVEIRA; OLIVEIRA, 2014).

2.9 Scratch

O ambiente de programação *Scratch* traz linguagem que contribui para a aprendizagem de programação através da criação de histórias, animações, simulações e outros produtos multimídia, arrastando e agrupando diferentes conjuntos de blocos de comandos coloridos (MARQUES, 2013).

Pelo fato de os comandos *Scratch* se basearem em uma estrutura de blocos de montar, o aprendiz pode concentrar esforço na busca pela construção do algoritmo, não se preocupando com erros de sintaxe. Desta maneira, pode-se afirmar que o caráter mais didático do *Scratch* projeta no aluno a possibilidade de ele se concentrar no exercício do pensamento algorítmico e na criatividade durante a construção das soluções (SCAICO et al., 2013).

3. Comparativo das Ferramentas

Os *softwares* apresentados compartilham objetivos, como desenvolver a criatividade, o raciocínio, a descoberta e interação social. Todos exploram as interfaces visuais como meio de motivar a aprendizagem dos conceitos de programação. O que os difere, entretanto, é que uns são apenas IDE, onde o aluno pode escrever e testar códigos, alguns são voltados para o ensino de lógica de programação e outros para conceitos mais avançados de programação, como orientação a objetos.

Para uma efetiva comparação das ferramentas analisadas, foram utilizados alguns critérios como a forma de interação do usuário com o ambiente, a plataforma de execução da ferramenta, as linguagens de programação suportadas e se está disponível no idioma Português.

No Quadro 1, pode-se observar a relação das ferramentas e os critérios que foram utilizados na análise.

Quadro 1 – Características Técnicas das Ferramentas. Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Ferramenta	Forma de Interação	Plataforma	Linguagem de Programação	Disponível em Português
<i>Feeper</i>	Textual	<i>Web</i>	Java	Sim
<i>WH-IDE</i>	Textual	Java	Portugol	Sim
<i>TutorICC</i>	Visual e Textual	Java	Pascal	Sim
<i>Portugol Studio</i>	Visual e Textual	Java	Portugol	Sim
<i>AAPW</i>	Visual e Textual	Java	Portugol	Sim
<i>TSTView</i>	Visual e Textual	<i>Web</i>	<i>Phyton</i>	Sim
<i>The Huxley</i>	Textual	<i>Web</i>	Várias	Sim
<i>SOAP</i>	Visual e Textual	<i>Web</i>	C	Sim
<i>Scratch</i>	Visual e Textual	<i>Web</i>	Blocos	Sim

Com exceção do *Scratch*, que utiliza blocos, todos os demais utilizam uma ou várias linguagens de programação. A maioria deles é composta de recursos visuais e textuais e podem ser executados na *web* através de um *browser*. Embora, todos os *softwares* apresentados sejam indicados para iniciantes, apenas três deles utilizam a linguagem *Portugol*, que é um fator considerado importante em disciplinas introdutórias.

Na literatura sobre aprendizagem de programação, encontram-se relatos de que o processo de conhecer e se habituar aos ambientes e às linguagens é uma tarefa árdua, com grande dispendiosidade de tempo por parte dos estudantes e, por vezes, dos docentes ou tutores (RIBEIRO, 2015).

No que se refere as funcionalidades implementadas, verificou-se acerca da possibilidade do usuário visualizar os valores das variáveis durante a execução de um algoritmo, o uso de animações e vídeos na explicação dos conceitos e técnicas utilizadas, a forma utilizada para emitir *feedback* e também se possuem ou não características de adaptatividade.

No Quadro 2, tem-se a comparação com relação às funcionalidades disponíveis:

Quadro 2 – Funcionalidades. Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Ferramenta	Visualização de variáveis	Animações	Vídeos	Feedback	Adaptatividade
<i>Feeper</i>	NÃO	NÃO	NÃO	Manual	NÃO
<i>WH-IDE</i>	NÃO	NÃO	NÃO	Manual	NÃO
<i>TutorICC</i>	SIM	SIM	NÃO	Automático	SIM
<i>Portugol Studio</i>	SIM	NÃO	NÃO	Manual	NÃO
<i>AAPW</i>	NÃO	NÃO	NÃO	Manual	NÃO
<i>TSTView</i>	NÃO	NÃO	NÃO	Automático	NÃO
<i>The Huxley</i>	NÃO	NÃO	NÃO	Automático	NÃO
<i>SOAP</i>	NÃO	NÃO	NÃO	Automático	NÃO
<i>Scratch</i>	NÃO	SIM	SIM	Automático	NÃO

Pode-se perceber que a maioria das ferramentas não utiliza recursos de animações e vídeos para apresentação de conteúdo, explicação dos códigos e funcionamento das variáveis.

A animação de algoritmos é importante, pois, muitas vezes, o professor tem a necessidade de usar representações visuais para ajudar os alunos a entenderem os algoritmos, o que na prática se concretiza, muitas vezes, mostrando o comportamento de programas (TAVARES et al., 2016).

Outra característica apresentada pela maioria dos *softwares* estudados é o *feedback* automático. Segundo Tavares et al. (2016), *feedback* imediato é crucial para a aquisição de conhecimento, independentemente da estratégia de aprendizagem adotada, pois motiva os alunos. Por outro lado, o *feedback* individual pode consumir muito tempo do professor com o risco de que os estudantes possam não se beneficiar dele no devido tempo (QUEIRÓS; LEAL, 2015).

Com relação à adaptatividade, apenas a ferramenta TutorICC apresentou essa funcionalidade, no qual o ritmo de aprendizagem se adapta ao perfil do aluno, podendo ser mais rápido ou mais lento, dependendo de sua maior ou menor facilidade em aprender programação.

A adaptatividade tem como propósito ajustar-se a diferentes níveis do educando, com diferentes conhecimentos prévios, facilitando o aprendizado e reforçando os conceitos apresentados nas aulas expositivas (BRAGA, 2015).

Segundo Gomes et al. (2008), para se atingir a capacidade de resolução de problemas são necessárias três fases: (1) resolução de problemas de diversos domínios, não utilizando algoritmos ou programação; em seguida, (2) uma amostra da utilidade da programação com aplicação dos conhecimentos adquiridos na fase anterior; e, finalmente, (3) passando para a construção dos algoritmos.

Na fase de resolução de problemas, a preocupação maior é com o tipo de problemas que serão apresentados. A utilidade da programação tem por objetivo mostrar

aos estudantes para que serve e como se faz um programa. E na fase de construção os alunos teriam que analisar a resolução de problemas através de programas de computador e também propor e testar novas soluções.

O Quadro 3 analisa se as ferramentas estudadas possibilitam a aplicação dessas fases:

Quadro 3 – Competências trabalhadas (GOMES et al., 2008). Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Ferramenta	Resolução de problemas de domínios diversos	Utilidade da programação	Construção dos algoritmos
<i>Feeper</i>	NÃO	NÃO	SIM
<i>WH-IDE</i>	NÃO	SIM	SIM
<i>TutorICC</i>	NÃO	NÃO	SIM
<i>Portugol Studio</i>	NÃO	SIM	SIM
<i>AAPW</i>	NÃO	SIM	SIM
<i>TSTView</i>	NÃO	NÃO	SIM
<i>The Huxley</i>	NÃO	NÃO	SIM
<i>SOAP</i>	NÃO	SIM	SIM
<i>Scratch</i>	SIM	SIM	NÃO

Observa-se que a grande maioria das ferramentas estudadas prioriza a etapa de construção dos algoritmos, sem a devida importância às competências anteriores.

Em disciplinas iniciais de programação o foco principal deve ser a capacidade de resolução de problemas, e o uso da linguagem de programação fica para fases posteriores, como meio de concretizar essa resolução através de um algoritmo (BORGES, 2016).

Embora todos os *softwares* apresentados sejam indicados para iniciantes, dentre as ferramentas citadas, a que mais atende a critérios importantes para aprendizagem inicial de programação e discutidos neste trabalho é o *Portugol Studio*.

A ferramenta *Portugol Studio* prioriza o uso do idioma português, e possui diversos elementos presentes nas IDE profissionais, mas preservando sempre o enfoque na aprendizagem dos novatos em programação. Alguns elementos da interface auxiliam o docente a explicar processos como a depuração.

Embora alguns dos projetos encontrados na literatura sejam extremamente exitosos, ainda se pode notar algumas deficiências, como: (1) foco na capacidade de resolução de problemas, (2) uso de animações e vídeos para explicação de conteúdos complexos e (3) utilização do *Portugol*.

4. Conclusão

O ensino de algoritmos e programação é um dos grandes desafios na área de ensino de computação, pois são grandes as dificuldades encontradas pelos alunos.

Considerando a evolução tecnológica e a visível necessidade de expansão desses conteúdos para além dos cursos de computação e uma possível inclusão dessa disciplina no currículo escolar brasileiro, é necessário verificarmos se as ferramentas utilizadas atendem as necessidades de aprendizagem dos estudantes.

Segundo Anido (2015), a primeira e mais importante barreira para estudantes brasileiros usarem as ferramentas existentes e que elas foram desenvolvidas para um público que tem inglês como língua oficial e, apesar dos meios de internacionalização, a maioria dos ambientes exige algum conhecimento da língua inglesa, e não apenas referente às palavras-chave da linguagem de programação.

Se adaptar a realidade desta nova geração, utilizando um ambiente mais lúdico e que considere as especificidades da aprendizagem dos estudantes são características indispensáveis as instituições de ensino. Portanto, é muito importante o desenvolvimento de ferramentas tecnológicas que busquem despertar o interesse do aluno, assim como facilitar o entendimento dos conteúdos e da lógica de programação.

Espera-se que este trabalho incentive a reflexão acerca de metodologias inovadoras e utilização efetiva da tecnologia a favor da educação. Tornar o aluno mais participativo, motivado e autônomo da sua aprendizagem é um desafio diário a ser conquistado.

Referências

- ALVES, F. P.; JAQUES, P. Um ambiente virtual com feedback personalizado para apoio a disciplinas de programação. In: *Anais dos Workshops do Congresso Brasileiro de Informática na Educação*. 2014. p. 51.
- ANIDO, R. Saci-ainda outro ambiente para o ensino de programação. In: *Anais do XXIII WEI - Workshop sobre Educação em Computação*. 2015.
- BORGES, M. J. M. *Ferramenta Multimídia de Apoio à Programação Algorítmica e Programação Pascal*. Nº de Folhas 217, Dissertação de Mestrado em Tecnologias de Informação e Comunicação. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, 2016.
- BRAGA, O. R. M. *Objeto de aprendizagem adaptativo no ensino da lógica booleana*. 2015. Nº de Folhas 93, Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica. Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2015.
- DORIA, J. [comentário pessoal]. *Facebook*. 10 mar 2017. Disponível em: <<https://www.facebook.com/jdoriajr>>. Acesso em: 11 mar. 2017.
- FRANTZ, W. L. S; PONTES, H. P. Um Ambiente de Desenvolvimento Personalizável para o Ensino de Programação. In: *Anais dos Workshops do Congresso Brasileiro de Informática na Educação*. 2014.
- GAUDENCIO, M. et al. Eu Sei o que Vocês Fizeram (Agora e) na Aula Passada: o TSTView no Acompanhamento de Exercícios de Programação. In: *Anais do Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*. 2013. p. 204
- GOMES, A. et al. Uma proposta para ajudar alunos com dificuldades na aprendizagem inicial de programação de computadores. In: *Educação, Formação & Tecnologias*; vol.1(1), pp. 93-103, 2008.

- GOMES, M. E. N.; D'EMERY, R. A.; FILHO, G. A. A. C. AAPW: Uma Ferramenta para facilitar o Aprendizado de Programação Web. In: *Anais do XXII WEI - Workshop sobre Educação em Computação*. 2014.
- MARQUES, M. C. P. O. *O ensino da programação no desenvolvimento de jogos através do ambiente Scratch*. Nº de Folhas 177. Dissertação do Mestrado em Ensino de Informática. Universidade do Minho, 2013.
- NOSCHANG, L. F. et al. Portugol studio: Uma ide para iniciantes em programação. In: *Workshop sobre Educação em Computação*. 2014. p. 1287-1296.
- OLIVEIRA, M.; OLIVEIRA, E. Metodologia de Diagnóstico e Regulação de Componentes de Habilidades da Aprendizagem de Programação. In: *Anais do XXII WEI - Workshop sobre Educação em Computação*. 2014.
- PAES, R. B. et al. Ferramenta para a Avaliação de Aprendizado de Alunos em Programação de Computadores. In: *Anais dos Workshops do Congresso Brasileiro de Informática na Educação*. 2013.
- PAULA, B. H.; VALENTE, J. A.; BURN, A. O uso de jogos digitais para o desenvolvimento do currículo para a Educação Computacional na Inglaterra. *Currículo sem Fronteiras*, v. 14, n. 3, p. 46-71, 2014.
- PÍCCOLO, H. L. et al. Ambiente Interativo e Adaptável para ensino de Programação. In: *Anais do Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*. 2010.
- QUEIRÓS, R.; LEAL, J. P. Ensemble: An Innovative Approach to Practice Computer Programming. In: QUEIRÓS, R., *Innovative Teaching Strategies and New Learning Paradigms in Computer Programming*. Hershey: Information Science, 2015. cap. 9.
- RAMOS, V. et al. A Comparação da Realidade Mundial do Ensino de Programação para Iniciantes com a Realidade Nacional: Revisão sistemática da literatura em eventos brasileiros. In: *Anais do Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*. 2015. p. 318.
- RIBEIRO, R. S. *Construção e uso de ambiente visual para o ensino de programação introdutória*. Nº de Folhas 59. Dissertação do Mestrado em Ciência da Computação. Universidade de São Paulo, 2015.
- SCAICO, P. D. et al. Ensino de Programação no Ensino Médio: Uma Abordagem Orientada ao Design com a Linguagem Scratch. *Revista Brasileira de Informática na Educação*, v. 21, n. 02, p. 92, 2013.
- SILVA, P. et al. Um Mapeamento Sistemático sobre Iniciativas Brasileiras em Ambientes de Ensino de Programação. In: *Anais do Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*. 2015. p. 367.
- TAVARES, P. et al. Técnicas para aumentar o envolvimento dos alunos na aprendizagem da programação. In: *VII Congresso Mundial de Estilos de Aprendizagem*. Bragança, 2016. p. 1565-1577.

ProgressCode: uma Ferramenta para Monitorar o Progresso de Alunos no Ensino Não-formal de Programação

Lucas F. Silva¹, Iago C. Corrêa¹
Andrea S. Charão¹, João V. F. Lima¹

¹ Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)
Santa Maria – RS – Brasil

{lferreira, icorrea, andrea, jvlima}@inf.ufsm.br

Resumo. *O ensino não-formal de programação ao público em geral, sob forma de projetos e atividades extra-curriculares, tem sido alvo de várias iniciativas. Nessas práticas, marcadas por interesses, atividades e embasamentos heterogêneos, o acompanhamento do aprendizado é um desafio. Neste trabalho, apresenta-se ProgressCode, uma ferramenta criada com o intuito de facilitar o registro e apresentação de observações feitas por tutores durante atividades de ensino não-formal de programação. A ferramenta compreende um aplicativo móvel para coleta de dados e um sistema web que permite visualizar informações sobre o progresso de cada participante. Testou-se ProgressCode durante oficinas de programação, nas quais a ferramenta mostrou cumprir seus objetivos.*

Abstract. *Non-formal teaching and learning of programming for the general public, in the form of extra-curricular projects and activities, has been the target of several initiatives. In these practices, characterized by heterogeneous interests, activities and foundations, the monitoring of learning is a challenge. In this work, we present ProgressCode, a tool created with the purpose of facilitating the recording and presentation of observations made by tutors during activities of non-formal programming teaching. The tool comprises a mobile application for data collection and a web system that allows one to view information about the progress of each participant. ProgressCode was tested during programming workshops, in which the tool showed to fulfill its objectives.*

1. Introdução

Em muitos níveis e modalidades de ensino, as práticas didáticas usufruem de meios tecnológicos para dinamizar e facilitar a aprendizagem, mesmo em atividades presenciais. No ensino-aprendizagem de programação e fundamentos de computação, pode-se contar com recursos variados, desde a simples propagação *on-line* de materiais de apoio (exercícios, tutoriais sobre linguagens, animações de algoritmos, etc.) até a existência de ambientes interativos e colaborativos, em que grupos de alunos recebem *feedback* imediato ao resolver problemas de programação.

Entretanto, mesmo com a variada gama de funcionalidades das tecnologias de apoio, ainda assim muitos fatores acabam sendo desconsiderados na dinâmica de ensino adotada, mesmo em atividades presenciais com presença de tutores. A cada prática realizada por alunos, é gerada uma grande quantidade de informações que caracterizam seu

progresso no aprendizado. Porém, fatores subjetivos às dificuldades e entendimento de cada aluno, mesmo quando percebidos presencialmente pelos tutores, acabam não gerando registros e, por isso, podem não ser considerados em etapas subsequentes.

No âmbito do ensino não-formal de programação, essa situação agrava-se ainda mais. Seja na forma de projetos, oficinas, clubes ou outras atividades extra-classe, o ensino não-formal tem características mais flexíveis que o ensino formal, como por exemplo: ser voluntário (e não compulsório), ser centrado em interesses do aluno e não ser sequencial [Eshach 2007]. Essa flexibilidade gera práticas marcadas por interesses, atividades e embasamentos heterogêneos. Assim, a observação individualizada do processo de aprendizagem assume um papel importante no planejamento, execução e avaliação de cada encontro com alunos.

A ferramenta ProgressCode, apresentada neste artigo, insere-se neste contexto e foi desenvolvida no âmbito de um programa de extensão universitária que, há mais de três anos, promove o ensino não-formal de programação a crianças e jovens, com atividades presenciais intermediadas por tutores. O objetivo da ferramenta é facilitar o registro e visualização do desempenho dos participantes nas atividades, auxiliando os tutores no processo de acompanhamento dos alunos. Isso possibilita a centralização e refinamento da grande quantidade de informações acerca do progresso dos alunos, de forma a realimentar o processo de ensino-aprendizagem.

No decorrer deste trabalho é apresentado o contexto que inspirou a criação do ProgressCode (seção 2), o detalhamento do processo de desenvolvimento, arquitetura e requisitos da ferramenta (seção 3), os resultados obtidos e a avaliação do uso em um cenário real (seção 4) e por fim as conclusões obtidas do uso e as aspirações para trabalhos futuros (seção 5).

2. Contextualização

2.1. Problema e Motivação

O cenário deste trabalho é vivenciado em muitos projetos de ensino de programação para crianças e jovens, em que tutores auxiliam os participantes das atividades propostas tentando sanar as dúvidas que vão surgindo em cada exercício. Na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), desenvolve-se um programa de extensão universitária que promove várias atividades de ensino não-formal, incluindo oficinas e minicursos de aprendizado de lógica computacional. Nestas atividades, vivencia-se um problema recorrente que é a descentralização das informações de desempenho de cada aluno e turma, já que é feito o uso de ferramentas variadas em cada atividade. Desta forma, passa a existir a necessidade de métodos e ferramentas que facilitem o acompanhamento dos participantes das aulas, para que se possa usufruir com mais eficiência das observações particulares feitas sobre o desempenho de cada aluno, o que desencadeia em um melhor aproveitamento da proposta didática como um todo.

A partir do estudo de caso neste programa extensionista, constatou-se a necessidade de uma solução que pudesse auxiliar os tutores no processo de acompanhamento dos alunos, bem como uma solução para centralizar a grande quantidade de informações relacionadas às atividades e seus respectivos participantes. Tais demandas foram os fatores instigantes para a criação do ProgressCode.

2.2. Trabalhos Relacionados e Soluções Existentes

A ideia de acompanhar o progresso de pessoas em atividades não é nova, sendo alvo de diferentes soluções.

Aplicações de “*progress tracking*”, como Strides [Conquer Apathy 2016] e Habit List [Habit List 2017], permitem que o usuário estipule metas para tarefas diárias e, na medida em que cada meta é alcançada, o próprio usuário a registra no aplicativo. Esses aplicativos permitem que sejam elaborados registros relacionados aos mais diversos contextos, porém, impedem que tais anotações sejam realizadas por terceiros, ou seja, apenas o usuário que irá realizar a atividade pode atualizar o andamento da mesma.

Com outra abordagem, existem também os “Ambientes Virtuais de Aprendizagem” ou AVAs, que apresentam-se como estruturas tecnológicas virtuais que visam auxiliar o aprendizado de quem os usufrui. Por meio desses ambientes, usuários têm acesso a exercícios e materiais de ensino que podem ajudá-los em seu desenvolvimento educacional em determinada área. Os AVAs são comumente utilizados para facilitar o acesso a conteúdos didáticos [de Brito et al. 2013], sendo também úteis a professores e instrutores, quando dispõem de recursos para acompanhar a realização de atividades. Plataformas desse tipo tendem a ser bastante robustas e completas, mas não costumam permitir registros detalhados sobre a realização de atividades. Além disso, a grande quantidade de recursos pode se tornar um problema no ensino não-formal, em que não se pode dedicar muito tempo para que os alunos aprendam a utilizar o ambiente.

Um outro exemplo de ambiente educacional é o usado na Hora do Código, projeto mundial do Code.org, que visa desmistificar a ideia de que programação é algo difícil [Code.org 2017]. Na plataforma desenvolvida para as atividades da Hora do Código, é possível a criação de turmas e o acompanhamento do desempenho dos participantes das atividades. Porém, essa “gestão” de turmas é bastante acoplada às atividades do projeto, não sendo possível fazer registros sobre outras atividades não previstas.

Em edições passadas do Workshop sobre Educação em Computação (WEI), alguns trabalhos apresentaram possíveis soluções para a problemática de acompanhar o desempenho dos alunos. Uma das propostas foi o TestWeb [de Aquino et al. 2006], uma ferramenta para avaliação de alunos do ensino à distância por meio da análise de respostas de questões de estilos variados, não só as de múltipla escolha. Outro trabalho segue na direção da avaliação e correção automática de exercícios de programação, propondo mais facilidade para os professores na hora da correção das atividades e avaliação dos alunos [Moreira e Favero 2009].

Ambos os trabalhos se concentram em avaliações formativas, porém não permitem o registro de anotações e observações que possam retratar aspectos mais particulares de cada aluno, mas que tendem a refletir diretamente no seu desempenho no processo de aprendizagem.

3. Desenvolvimento da Ferramenta

O sistema proposto é basicamente composto por duas tecnologias: um aplicativo móvel e um sistema web. O primeiro tem como objetivo auxiliar os tutores na supervisão e coleta de dados dos alunos, já o segundo é destinado a persistência e visualização centralizada das informações coletadas pelos tutores por meio do aplicativo.

3.1. Requisitos

Um dos principais requisitos do ProgressCode é permitir o registro de observações detalhadas sobre o progresso de alunos em atividades. Essas observações devem ser registradas por tutores, de forma rápida, sem prejudicar o processo de tutoria.

Com o aplicativo móvel, torna-se possível que os tutores das atividades registrem o desenvolvimento do aluno durante atividades realizadas. Esse procedimento pode ser feito por meio de “emojis” para selecionar, de uma forma interativa e objetiva, a opção que retrata o rendimento observado na atividade que está sendo executada.

A plataforma web é responsável por agrupar as informações provenientes da observação de cada tutor em seu aplicativo. O gerenciamento é simples: um responsável cadastra um evento e seus respectivos participantes e encontros, os quais são compostos por atividades como desafios ou exercícios. Há também, armazenado no banco de dados, informações sobre os inscritos nos eventos propostos, permitindo uma visualização de todos os registros de desempenho por atividade de cada um dos participantes.

Ainda no sistema web, é possível o acesso a recursos como a visualização do progresso de cada aluno ou turma em determinada atividade, ou também o andamento geral das tarefas de um encontro.

Com as informações dos tutorados em mãos, é possível ao tutor e responsável avaliarem suas formas ensino e didáticas empregadas nas atividades, em função dos objetivos atingidos ou não. Um estudo dos dados coletados dá condições aos tutores de mapear alunos e atividades que requeiram mais atenção na tutoria.

3.2. Arquitetura e Implementação

O projeto como um todo, como já citado anteriormente, é composto por um sistema web e um aplicativo móvel. O sistema web foi desenvolvido utilizando-se a linguagem de programação Python, versão 3, sobre o framework Django 1.10. Já o aplicativo móvel foi desenvolvido com suporte a API 19, ou superiores, do sistema operacional Android. O

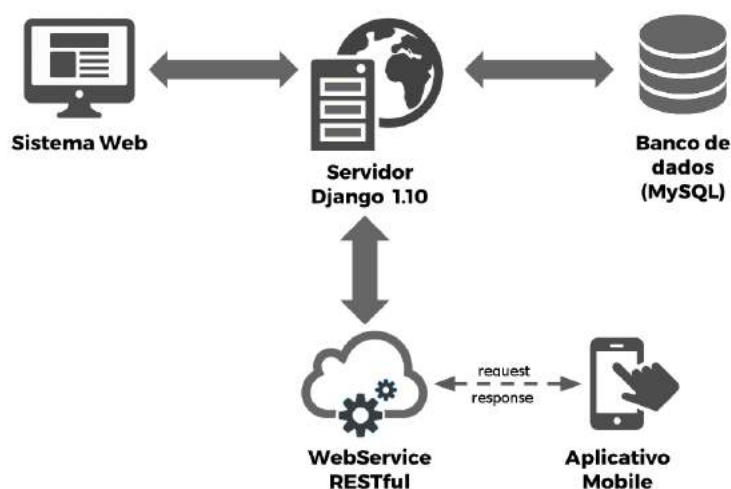


Figura 1. Diagrama arquitetural do ProgressCode

ProgressCode baseia-se em uma arquitetura *mobile-desktop* em que tarefas como criação de eventos, cadastro de turmas, análise dos dados coletados, entre outras, se concentram somente na aplicação web, permitindo assim que o aplicativo móvel seja responsável somente pela coleta dos dados. Este modelo de funcionamento vem como uma facilidade para os tutores, que necessitam apenas de um *smartphone*, que pode acompanhá-los durante o auxílio dos alunos, para o registro das observações.

Como pode ser visto no diagrama arquitetural (Figura 1), os dados coletados com o aplicativo mobile são enviados para um banco de dados MySQL por intermédio de um Webservice RESTful que, assim como o sistema web, está em execução em um servidor com Django.

3.3. Interface com o Usuário

A plataforma web é composta por um menu lateral que permite acesso a todas as funcionalidades responsáveis pelo gerenciamento das turmas e eventos, como por exemplo: página de cadastro dos tutorados, adicionar e remover eventos, bem como, seus respectivos encontros e atividades. Também é possível encontrar no sistema a lista dos tutores responsáveis por aplicar as atividades de cada encontro, além da possibilidade de vinculá-los ou desvinculá-los a um determinado encontro.

Tanto os registros de desempenho quanto os eventos, encontros e atividades, são mostrados ao usuário em forma de listas, que permitem uma visualização objetiva das informações de cada item. Também é possível navegar através das listas buscando atividades de cada encontro ou encontros de cada evento. A figura 2 é um exemplo dessas listas: nela é apresentada a página que contém a listagem das observações realizadas pelos tutores das atividades por meio do aplicativo mobile instalado em seus *smartphones*.

Status	Data do Registro	audio	Atividade	Inscrito	Tutor
3	Nov. 26, 2016, 9:39 a.m.		Hora do Código - Labirinto	Amanda	
3	Nov. 26, 2016, 9:39 a.m.		Hora do Código - Outro	Amanda	
3	Nov. 26, 2016, 9:39 a.m.		App - Baixar imagens e som	Amanda	
3	Nov. 26, 2016, 9:40 a.m.		Hora do Código - Labirinto	Rafael	
3	Nov. 26, 2016, 9:40 a.m.		Hora do Código - Outro	Rafael	
3	Nov. 26, 2016, 9:40 a.m.		App - Baixar imagens e som	Rafael	
3	Nov. 26, 2016, 9:42 a.m.		Hora do Código - Labirinto	Rafael	
3	Nov. 26, 2016, 9:42 a.m.		Hora do Código - Outro	Rafael	
3	Nov. 26, 2016, 9:42 a.m.		App - Baixar imagens e som	Rafael	

Figura 2. Lista de observações coletadas pelos tutores com o aplicativo

O usuário dispõe de duas opções para adicionar participantes de atividades. Na primeira, ele pode adicioná-los manualmente, inserindo um por um. Na segunda forma, é possível a importação de um arquivo .csv para o cadastro de um grupo inteiro de alunos, buscando automatizar o processo de inserção de inscritos no sistema.

Para a coleta dos dados, o usuário (tutor) deve se autenticar no aplicativo, utilizando credenciais que foram cadastrados na plataforma web (Figura 3 (a)).

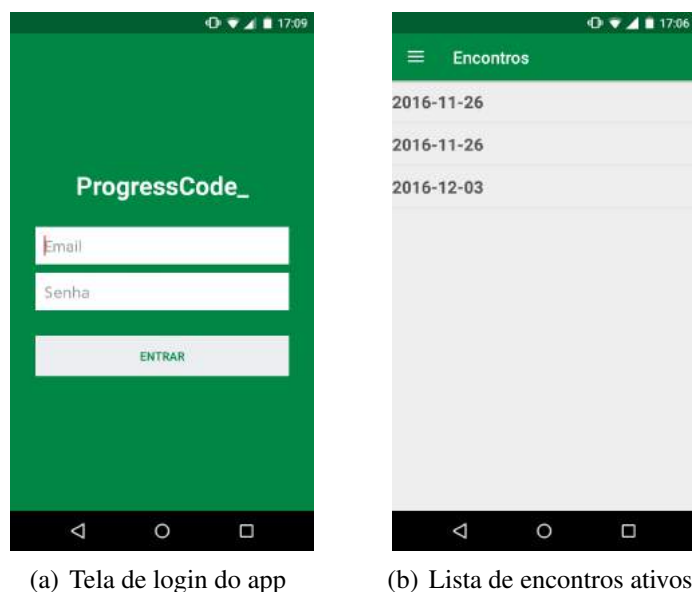


Figura 3. Telas iniciais do aplicativo

Depois de autenticado, o tutor é direcionado para uma tela contendo todos os encontros cadastrados na página web e que ainda estão ativos (Figura 3 (b)). Ao selecionar o encontro desejado apresenta-se a tela contendo todos os participantes cadastrados para o encontro em questão (Figura 4 (a)) e então, para o tutor começar a fazer as observações do aluno, basta selecionar na lista o nome do mesmo.

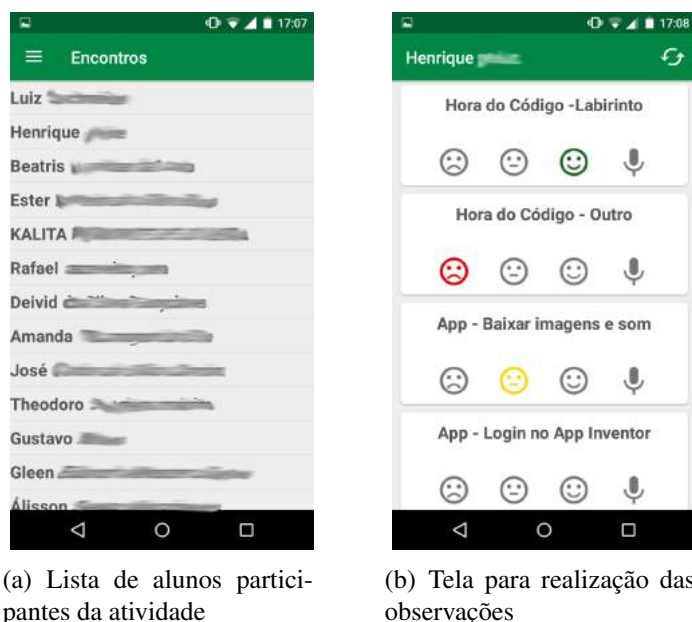


Figura 4. Telas do processo de registro de observações sobre o aluno

Quando um tutor seleciona um determinado nome na lista de alunos, o aplicativo apresenta uma tela contendo todas as atividades do encontro anteriormente selecionado

(Figura 4 (b)) e, a partir de botões em forma de “emojis”, o usuário pode classificar o desempenho do participante de forma interativa e objetiva. Esses botões podem ser vistos na figura 4 e apresentam “um rosto triste”, “um rosto neutro” e “um rosto feliz”, sendo que cada um representa respectivamente: “muita dificuldade para fazer a atividade”, “um pouco dificuldade para fazer a atividade” e “concluiu a atividade sem dificuldades”. Essa forma de registrar observações visa permitir ações rápidas por parte dos tutores, ao mesmo tempo que dá flexibilidade para se definir atividades em maior ou menor grau de detalhamento.

O botão restante, em forma de microfone, é uma funcionalidade destinada para a gravação das observações em forma de áudio.

4. Testes e Resultados

Assim que uma versão utilizável do sistema ficou disponível para uso, fazia parte do intento dos desenvolvedores testá-la em uma situação real, buscando avaliar se os requisitos levantados na fase de modelagem do projeto atendiam todas as necessidades demandadas pelo usuário final.

Como primeiro teste, o ProgressCode foi utilizado por tutores do programa de extensão da UFSM e intitulado: “Clube de Computação para o Público do Ensino Médio e Fundamental”, em uma de suas oficinas que promovem o ensino de programação a crianças e jovens. O aplicativo foi utilizado em três encontros, por cinco tutores, gerando registros reais sobre o progresso de tutorados nas atividades.

Notou-se que, ao que se propõe, o ProgressCode cumpriu com as expectativas, pois auxiliou os tutores do projeto a lembrarem das dificuldades evidenciadas pelos tutorados com os registros efetuados no decorrer da atividade. Mesmo o sistema estando ainda em fase de aprimoramento de funcionalidades, foi perceptível aos tutores do Clube sua vantagem de uso durante as atividades.

5. Conclusão e Trabalhos Futuros

Neste trabalho, apresentou-se uma alternativa para o registro de observações sobre o progresso de alunos em atividades de ensino não-formal de programação.

Dadas suas motivações, o ProgressCode cumpre os objetivos propostos, tornando-se uma ferramenta aliada em projetos de ensino não-formal de programação, pois apresenta-se como uma solução simples e objetiva para o auxílio no acompanhamento dos alunos, acomodando diferentes tipos de atividades, em maior ou menor grau de detalhamento.

Como trabalhos a serem desenvolvidos, é vislumbrado um aprimoramento da parte dedicada à visualização do progresso dos alunos no sistema web, trazendo, por exemplo, estatísticas sobre os exercícios que os alunos tiveram mais ou menos dificuldades.

Visando contribuir com projetos que enfrentem a mesma problemática, o ProgressCode é disponibilizado como um software de código aberto e está disponível em um repositório público [ProgressCode 2016], podendo ser baixado, estudado ou mesmo modificado.

Referências

- Code.org (2017). Hour of code. <https://hourofcode.com/br>.
- Conquer Apathy (2016). Strides: Track all your goals e habits in one place. <http://www.stridesapp.com/>.
- de Aquino, C. L. C., de Souza, G. Q., da Silva, J. C. T., e da Conceição Almeida Pfister, M. (2006). TestWeb - A Implementação de Uma Ferramenta de Avaliação à Distância. In *Anais do Workshop sobre Educação em Computação*.
- de Brito, L. M., Júnior, J. R. G., Gomes, S. G. S., e Mota, J. B. (2013). Ambientes virtuais de aprendizagem como ferramentas de apoio em cursos presenciais e a distância. *RENOTE - Revista Novas Tecnologias na Educação*.
- Eshach, H. (2007). Bridging in school and out-of-school learning: formal, non-formal, and informal education. *Journal of Science Education and Technology*, 16(2):171–190.
- Habit List (2017). Habit list: Build a better you. <https://habitlist.com/>.
- Moreira, M. P. e Favero, E. L. (2009). Um Ambiente para Ensino de Programação com Feedback Automático de Exercícios. In *Anais do Workshop sobre Educação em Computação*.
- ProgressCode (2016). Progresscode repositório git. <https://github.com/LucasFerreiraDaSilva/ProgressCode>.

AGILITY SCRUM – Um Jogo para Ensino da Metodologia SCRUM

Ronney Moreira de Castro^{1,2}, Sean Wolfgang Matsui Siqueira², Denilson Novais de Almeida¹, Felipe Calegario Nascimento¹

¹Faculdade Metodista Granbery – Juiz de Fora (FMG)

Rua Batista de Oliveira, 1145 – Granbery - Juiz de Fora – MG – Brasil

²Programa de Pós-Graduação em Informática (PPGI)

Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro(UNIRIO)

Av. Pasteur, 456 –Urca –Rio de Janeiro –RJ – Brasil

ronney.castro@granbery.edu.br, sean@uniriotec.br,
denilsonalmeida.bj@gmail.com, felipe.calegarionascimento@gmail.com

Abstract. *Considering the problems faced by the teachers and students in teaching and learning the Agile Scrum Methodology as a Software Engineering practice, this paper describes a different approach. A non-computational game was developed and the students were able to have a practical experience on the use of this methodology, which in its turn brought a better acceptance, assimilation and result in the exercises and works done by the students. Thus, it presents a good use and efficacy in the application of the content proposed by teachers.*

Resumo. *Tendo em vista as dificuldades encontradas por docentes e discentes no ensino e no aprendizado da Metodologia Ágil Scrum como prática de Engenharia de Software, este artigo descreve uma abordagem diferente. A partir da criação de um jogo não computacional, os discentes puderam vivenciar uma experiência prática do uso da metodologia, o que por sua vez trouxe uma melhor aceitação, assimilação e resultado nos exercícios e trabalhos realizados, indicando assim um bom aproveitamento e eficácia na aplicação do conteúdo proposto pelos docentes.*

1. Introdução

O Scrum é uma metodologia ágil para organizar e gerenciar projetos. Usa um processo onde, várias etapas devem ser seguidas, de forma a garantir a produção de determinado produto no prazo e no orçamento, e possui poucos artefatos e práticas, além de regras diretas e fáceis de aprender. Na área de Tecnologia da Informação (TI) é muito utilizado para o desenvolvimento de software [PEREIRA et al., 2007] [SCHWABER, 2004]. Em geral, essa metodologia é ensinada dentro da Engenharia de Software de forma predominantemente teórica, fazendo com que seu conteúdo não seja atrativo, pois não conta com uma vivência prática, por mais simples que ela seja [REIF e MITRI, 2005].

Aula expositiva é o método predominante usado pela maioria dos professores de Informática, particularmente em cursos introdutórios [GUDIGANTALA, 2013]. Entretanto, pesquisas anteriores sugerem que o uso exclusivo de aulas expositivas limita a aprendizagem dos alunos [BONWELL e EISON, 1991]. Por outro lado, o uso de práticas lúdicas auxilia no aprendizado do aluno e, com isso, jogos educativos vêm

sendo desenvolvidos e utilizados para esta finalidade, aprimorando a comunicação entre o docente e discente [KAHL, 2007].

Nos cursos relacionados à área de computação tem-se observado que através da utilização dos jogos, o estudante absorve melhor os conceitos estudados e compreende as tomadas de decisões, simulando uma realidade que ele enfrentará no dia-a-dia quando estiver no mercado de trabalho [ROSSIOU e PAPADAKIS, 2007]. Seu uso é considerado uma estratégia poderosa, capaz de trazer benefícios para os alunos, tais como o aumento na eficácia da aprendizagem, um maior interesse pelas aulas, maior persistência e motivação [BATTISTELLA e WANGENHEIM, 2016]. Através do processo lúdico pode-se mostrar e ensinar de forma prática a importância do Scrum em diversas áreas de atuação e não apenas na área de Tecnologia [OLIVEIRA, 1999].

Considerando este cenário, foi projetado o Agility Scrum, que é um jogo educacional direcionado para o ensino de Scrum. O diferencial da abordagem aqui apresentada está em contemplar aspectos principais do Scrum, bem como situações do dia-a-dia de um projeto, que são simuladas utilizando práticas do Movimento Maker¹, mais especificamente, componentes eletrônicos simples.

De modo a avaliar a eficácia do jogo e verificar se o objetivo central - ensinar a metodologia Scrum de uma forma prática (diferente das aulas expositivas tradicionais) – foi atingido, o Agility Scrum foi aplicado em turmas do 6º, 7º e 8º períodos do Curso de Bacharelado em Sistemas de Informação da Faculdade Metodista Granbery - Juiz de Fora - MG, em outubro de 2016. A dinâmica do jogo e os resultados da avaliação são apresentados no artigo.

O restante do artigo está organizado em mais cinco seções. Na seção 2 são apresentados os conceitos da metodologia Scrum e na seção 3 jogos para apoiar seu ensino. A seção 4 descreve o jogo Agility Scrum propriamente dito, os passos de sua preparação, assim como a forma utilizada para jogá-lo e sua aplicação nas turmas. Os resultados alcançados estão na seção 5 e, por fim, a conclusão do artigo na seção 6.

2. Scrum

O Scrum conta com três papéis fundamentais: (i) *Scrum Master* - responsável por fazer a equipe respeitar as práticas do Scrum, além de ser o responsável por conduzir a *Daily Meeting* (Reunião Diária). Em geral este papel é exercido pelo gerente de projetos; (ii) *Scrum Team* – refere-se à equipe de desenvolvimento, onde podem ser encontrados desenvolvedores, analistas de testes e arquitetos de software, entre outros; e (iii) *Product Owner* – responsável por definir os itens que farão parte do *Product Backlog*, ou seja, as atividades que podem maximizar o trabalho da equipe de Scrum. É um papel representado por apenas uma pessoa, podendo ser um membro da equipe, ou até mesmo, o próprio cliente [SCHWABER e BEEDLE, 2002].

O processo do Scrum é iterativo e incremental. São feitas diversas entregas de versões funcionais durante o projeto, o que permite a constante inspeção do produto e evita desvios indesejados [SCHWABER, 2004]. Entretanto, não é um método formal e

¹A ideia central desse movimento é proporcionar a experiência de fazer, construir coisas. Para isto, busca-se possibilitar o acesso aos aprendizes a tecnologias como de manipulação de instrumentos, como máquinas de corte a laser, cortadoras de vinil, fresadoras, componentes eletrônicos diversos (leds, resistores, fios para ligações etc.) e, em alguns casos, impressoras 3D.

padronizado e não fornece uma série de passos que garanta que, após sua aplicação, os objetivos do projeto serão atingidos [RUBIN, 2012].

O *Product Backlog* é um conceito considerado parte fundamental do Scrum. Consiste em uma lista de itens com prioridades que incluem todas as ações que precisam ser realizadas e que possam ser associadas a algum valor de negócio, para a realização do projeto visando requisitos funcionais ou não funcionais. Dessa lista são extraídas as tarefas que a equipe se comprometerá a fazer em um determinado *Sprint* (ciclo que tem tempo determinado - em geral de duas a quatro semanas - e contém um conjunto de atividades a serem executadas), o que é chamado de *Sprint Backlog* [SCHWABER e BEEDLE, 2002]. As tarefas são em geral descritas em *post-its* ou cartões que são fixados em um quadro contendo as divisões: “A fazer” (TO DO); “Em Execução” ou “Em Andamento” (DOING); “Feito” ou “Concluído” (DONE). Este quadro é conhecido por Quadro de Kanban (tradução do Japonês de “registro”). Ele não está presente no *Scrum Guide* [SUTHERLAND e SCHWABER, 2013], porém muitas equipes fazem uso do mesmo, com o objetivo de gerenciar melhor o andamento das tarefas.

Pereira et al. [2007] dizem que devem ocorrer reuniões diárias (*Daily Meeting*), que são encontros rápidos que acontecem todos os dias com 15 minutos ou menos de duração, cujo objetivo é observar o progresso do projeto. Ao final do *Sprint* devem ocorrer: uma reunião de revisão (*Sprint Review Meeting*), onde a equipe demonstra o produto e faz a validação para ver se o objetivo foi atingido; e a reunião de retrospectiva (*Sprint Retrospective*), cujo objetivo é melhorar o processo da equipe.

De forma simplificada, o Scrum funciona conforme a figura 1.

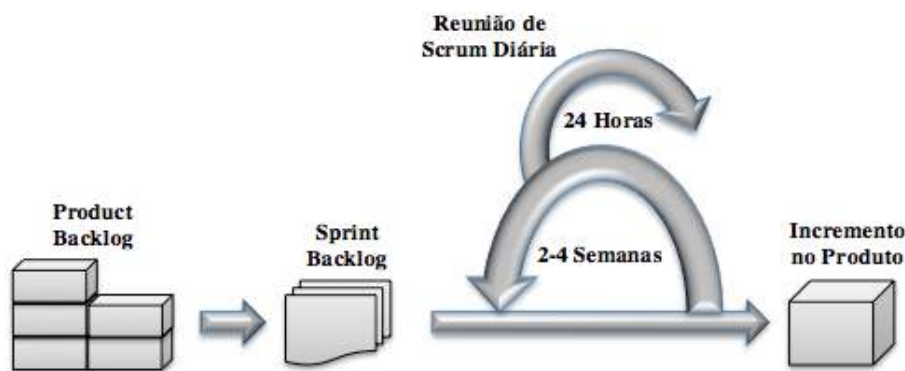


Figura 1. Ciclo do Scrum simplificado [Elaborado pelos autores]

3. Jogos para Ensino do Scrum

Existem diversos jogos que podem ser utilizados para o ensino dessa metodologia, de forma fácil e descontraída. O jogo apresentado nesse trabalho é não computacional e a tabela 1 ilustra alguns desses jogos utilizados para o ensino de Scrum. Os jogos não computacionais são aqueles que não necessitam do uso de computadores para seu funcionamento, podendo ser uma atividade livre, permitir ao jogador a possibilidade de repetição quantas vezes forem necessárias, ser dinâmico e possibilitar a imaginação e autonomia de quem o joga [PASSERINO, 1998]. Estes jogos são praticados em uma mesma sala, de forma que seus participantes possam interagir entre si e se adaptar às regras durante a partida, estabelecendo fronteiras e restrições [CRAWFORD, GOSLING, LIGHT, 2013].

As características de jogos para o ensino de Scrum foram levantadas e utilizadas para comparação dos jogos encontrados na literatura e/ou comercialmente. A legenda para leitura da tabela é: TA: uso de tabuleiro; PA: uso de papel e/ou caneta/lápis; CA: uso de cartas, cartões e/ou *post-its*; KA: uso de quadro Kanban; MD: uso de materiais diversos, como LEGO, por exemplo; e OF: uso de outras formas para ensino.

Tabela 1: Jogos não computacionais para o ensino de Scrum.

Jogo/Características	TA	PA	CA	KA	MD	OF
Ballpoint game					Bolas	
PlayScrum	X		X		Dado	
Scrum from Hell			X			Dinâmica
Scrum Simulation with LEGO Bricks		X	X		Lego, cronômetro	
SCRUMIA		X	X	X	Jornal	
The Scrum LEGO Challenge		X	X		Lego	

Conforme observado na tabela 1, a maioria dos jogos faz uso de cartas, cartões ou *post-its*. O uso de materiais diversos é outra característica importante, sendo que em dois dos jogos são utilizados materiais de baixo custo, como bolas de ping-pong e jornal. O uso de Lego mostra que esse tipo de material pode proporcionar montagens diversas para demonstrar por analogia, por exemplo, funcionalidades de um software, mas existe a limitação de ser de custo elevado e não acessível a qualquer pessoa e/ou instituição.

Em nenhum dos jogos pesquisados foi encontrado o uso de componentes eletrônicos, como leds, fios e baterias. O jogo aqui proposto vem inovar nessa questão que é derivada de práticas do Movimento Maker.

4. Agility Scrum

O jogo proposto (Agility Scrum) é jogado por equipes que podem ser entendidas como empresas de desenvolvimento. Em cada equipe, cada aluno/jogador assume um papel (Scrum Master ou Desenvolvedor). É escolhida também, entre todos os participantes, uma pessoa para ser o Product Owner (na aplicação aqui descrita, este papel foi desempenhado pelo professor). Dentre as tarefas do jogo, os jogadores devem lidar com: complexidade, noção de qualidade do projeto, perda de membros da equipe (demissão de funcionários, por exemplo), maturidade das pessoas envolvidas, entre outros fatores que estão ligados ao andamento de um projeto. Através desses quesitos é possível mostrar como um processo não é estático em uma organização, devendo sofrer melhorias e intervenções constantes.

Os detalhes do jogo, assim como sua preparação, podem ser observados na Tabela 2.

Tabela 2. Detalhes e preparação para o jogo

Nome do Jogo	Agility Scrum – Um jogo para o auxílio no ensino da metodologia Scrum
Objetivo	Mostrar de forma divertida algumas etapas da metodologia Scrum e como fatores diversos podem afetar o andamento de um projeto e sua organização. Mostrar aos alunos, por analogia, que seguir uma metodologia pode contribuir positivamente para a geração de um produto final de melhor qualidade.
Participantes	Grupos de quatro a seis alunos.
Tempo	6 minutos para execução de cada Sprint, sendo 1 minuto da reunião diária.

Material Utilizado	Fios diversos para fazer ligações (preferencialmente com pontas para serem fixadas na protoboard); botões para acionar os leds; baterias 3V que irão alimentar o circuito a ser construído, suporte para as baterias; leds comuns (cores: amarelo, verde, vermelho); leds bicolor (podendo ser escolhidos aleatoriamente, desde que tenham duas cores); capacitores de cerâmica e resistores (utilizados apenas com a finalidade de confundir os participantes. Não é necessário o uso destes para a montagem do circuito); protoboard (placa utilizada para ensaio em bancadas de eletrônica. Sua principal vantagem é o fato de dispensar o uso de solda para fixar os componentes. Aqui será utilizada para a montagem do circuito); cartões com os benefícios (utilizados para auxiliar os jogadores. Podem ser dicas, por exemplo, simulando o auxílio de um profissional); cartões com as penalidades (função de penalizar os jogadores, como por exemplo ficar sem um membro do grupo); cartões com os Sprints (tarefas que devem ser executadas sequencialmente) e quadro de Kanban (desenhado no próprio quadro da sala de aula, sendo feita uma divisão, por linha, para cada equipe).
Custo do Material	Para realização do jogo foram utilizados 5 kits com os materiais, com um valor total aproximado de R\$ 100,00 (outubro de 2016).
Preparação	<p>Imprimir e recortar os cartões de benefícios e penalidades. Estes cartões deverão ser embaralhados antes do início do jogo e colocados em uma mesa na sala onde o mesmo será aplicado. Para download dos cartões, acessar o link: https://www.mediafire.com/folder/m23civ5s581a1/AGILITY_SCRUM_-_cartas</p> <p>Verificar quantas equipes serão formadas e imprimir os 5 cartões para cada uma delas. Cada cartão (Sprint) deverá conter uma etapa do processo a ser realizado na protoboard. As tarefas são sequenciais.</p> <p>1º Cartão) Ligar a bateria e acrescentar um led verde, este led deverá permanecer aceso. A ligação deve ser realizada no corte ao lado da bateria.</p> <p>2º Cartão) Acrescentar um led amarelo na corrente ao lado do led verde, os dois leds devem ficar acesos.</p> <p>3º Cartão) Acrescentar um led vermelho e um botão. O led só pode ser aceso ao acionar o botão.</p> <p>4º Cartão) Acrescentar um botão para acender os leds do primeiro e segundo Sprints. Os leds que antes ficavam acesos, só acenderão com o acionar do botão.</p> <p>5º Cartão) Acrescentar um led bicolor e dois botões. Cada botão deverá acender uma cor do led.</p>

4.1. Descrição

O jogo inicia com o professor dividindo a turma em grupos de 4 a 6 alunos, dispostos em lugares distintos na sala, de modo que cada grupo não consiga ver o processo sendo executado no outro grupo. Ele deverá explicar que será aplicada uma atividade que envolverá os conceitos da metodologia ágil Scrum. Após a separação, cada grupo deverá escolher um integrante para ser o Scrum Master, que será responsável por entender todo o processo desde início e repassar à sua equipe; porém este não poderá participar da execução do projeto, deve apenas coordenar seu time.

No início, os *Scrum Masters* devem se reunir com o professor, a fim de que sejam passadas informações sobre o funcionamento da Protoboard e dos componentes eletrônicos que serão utilizados. Em seguida, cada Scrum Master deve pegar o cartão do Backlog (TO DO) com o primeiro Sprint, ler o mesmo e colar no quadro de Kanban em um espaço reservado à sua equipe (DOING). Após, ele deve se direcionar para o local onde está sua equipe e aguardar a ordem para passar a tarefa. O professor deve então, dar a ordem de início e marcar o tempo de 1 min para que a tarefa seja passada à equipe pelo Scrum Master. Em seguida, será dado o tempo de 5 minutos para que a equipe faça o Sprint.

No final de cada Sprint, o Scrum Master deve se dirigir até o Product Owner (professor) e relatar se sua equipe conseguiu realizar a tarefa. Em caso positivo, ele se dirige ao quadro de Kanban e move seu cartão com o Sprint de Em Execução (DOING) para Concluído (DONE) e avança para o próximo Sprint (retirar o cartão do próximo Sprint). Caso negativo continua no mesmo Sprint e é contado mais 1 minuto de reunião e 5 minutos de execução.

No final de cada tempo de 5 minutos dos Sprints, o Scrum Master, deve retirar uma carta do baralho, podendo ser um benefício (ajuda na realização do Sprint) ou uma penalidade (penalidade para o time). As penalidades são coisas que ocorrem na vida real como, por exemplo: demissões, funcionário que está de atestado, desentendimentos pessoais, entre outras.

A equipe vencedora será aquela que terminar todos os 5 Sprints mostrados no quadro de Kanban e, que todo o circuito construído ao longo do jogo estiver funcionando corretamente.

4.2. Aplicação

O jogo foi aplicado em turmas do 6º, 7º e 8º períodos do Curso de Bacharelado em Sistemas de Informação da Faculdade Metodista Granbery - Juiz de Fora - MG, em outubro de 2016. Os alunos já possuíam um conhecimento prévio sobre a metodologia Scrum. A formação dos grupos foi por sorteio em todos os casos. Em um dia, o jogo foi aplicado na turma de 7º e 8º períodos (juntas) com 3 grupos de 6 participantes cada. Em outro dia, a aplicação foi feita na turma de 6º período com 2 grupos de 4 pessoas. Em cada um dos grupos, um dos integrantes foi escolhido como Scrum Master, aleatoriamente. A idade dos participantes varia de 19 a 30 anos. Houve a participação de 3 pessoas do sexo feminino. A Figura 2 mostra os participantes durante o processo do primeiro Sprint. Os participantes que estão de pé são os Scrum Masters.



Figura 2. Participantes jogando o Agility Scrum

A Figura 3 mostra o quadro de Kanban com os Sprints sendo realizados pelos grupos, apenas um Sprint a cada execução. A divisão do quadro obedeceu as seguintes fases: “Backlog” (TO DO); “Em andamento” (DOING) e “Concluído” (DONE). Cada linha representa um dos grupos. A figura 4 mostra alguns cartões de benefícios/penalidades e a figura 5 o processo de construção de um Sprint.



Figura 3 – Quadro de Kanban com os Sprints

PENALIDADE:	PENALIDADE:	BENEFICIO:	BENEFICIO:
Scrum Master Pediu demissão.	Scrum Master sofreu um acidente e irá se ausentar 15 dias para ser recuperar	Dica: Não há necessidade de utilizar os capacitores.	Dica: A conexão positiva do led é o de lado maior
3 minutos sem o Scrum Master poder participar	2 minutos sem o Scrum Master poder participar		

Figura 4 – Exemplos de cartões com benefícios e penalidades

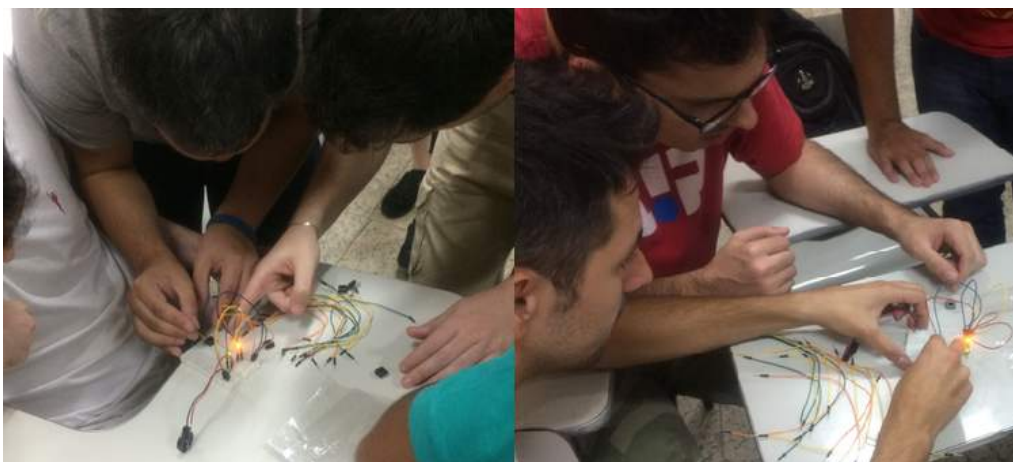


Figura 5 – Processo de construção do Sprint

5. Resultados

Ao final da dinâmica foi aplicado o questionário utilizado no trabalho de Castro e Souza [2016], com uma pequena modificação na questão 1 (“A dinâmica atendeu as expectativas em relação ao tema proposto: processos.” alterado para “A dinâmica

atendeu as expectativas em relação ao tema proposto: ensino da metodologia Scrum?”), contendo 25 afirmativas para coletar informações dos participantes. Cada uma delas com notas: 1 (ruim), 2 (razoável), 3 (bom), 4 (muito bom) e 5 (excelente).

O questionário teve o objetivo de verificar se, com a aplicação deste jogo, o conteúdo foi ensinado de um modo diferente; se foi possível assimilar melhor o conteúdo transmitido em relação ao método tradicional (aulas expositivas); se os alunos se sentiram motivados a estudar, utilizando artifícios diferentes do método tradicional de ensino.

O universo de alunos da pesquisa foi de 26 participantes, sendo 18 participantes em uma turma (junção de 7º e 8º períodos) e 8 participantes em outra (6º período). O método utilizado foi de contagem de número de respostas em cada item. Após o tratamento e análise dos dados, obteve-se 82% de sucesso a partir das questões respondidas, que estão entre ter marcado a nota 4 (muito bom) ou 5 (excelente).

Mesmo com um universo restrito de participantes foi perceptível, através do desenvolvimento do processo de construção do circuito pelos grupos e da participação e motivação dos integrantes, uma melhora significativa no aprendizado. Através deste jogo também foram observados diversos benefícios como: bem estar, motivação, melhor aprendizado, aprender com erro e a dificuldade de lidar com as pessoas. Os alunos tiveram a chance de cometer erros para vivenciar uma experiência próxima ao mercado de trabalho.

O jogo mostra uma inovação no quesito material e técnica de ensino. O uso de componentes eletrônicos é uma prática derivada do Movimento Maker e muitos alunos não conheciam o funcionamento desses componentes. Diante disso, tiveram que aprender fazendo, montando o circuito passo a passo. Dúvidas foram tiradas com os Scrum Masters, que receberam orientações no início do jogo. Isso proporcionou uma experiência diferente das aulas tradicionais, com os alunos construindo o conhecimento através da prática. Este é o cerne do Movimento Maker - o Construcionismo [BLIKSTEIN e KRANNICH, 2013).

Além disso, o jogo proporcionou a vivência de algumas situações da vida real de forma simulada. Alguns grupos tiveram que lidar com penalidades como, por exemplo, ficar sem um membro durante uma rodada. Isso simula um funcionário que faltou ou está de atestado. A equipe teve que redistribuir o trabalho de forma a não ser prejudicada na realização da tarefa. Quanto aos benefícios, simulam um auxílio de um profissional mais especializado dentro da empresa. Um exemplo é “não é necessário usar os capacitores”.

Alguns itens do questionário merecem destaque, como é o caso da questão 2 – “Estou satisfeito com o jogo apresentado porque foi uma atividade prática diferente das aulas convencionais”. Cerca de 80% dos respondentes marcou nota 5, o que leva a concluir que as aulas tradicionais, centradas em conteúdo expositivo, tendem a ser mais entediantes. O mesmo ocorreu na questão 14 – “Gostaria novamente de utilizar mais jogos e/ou formas diferentes para o aprendizado das disciplinas”, com cerca de 88% dos participantes marcando nota 4 ou 5. Isso também significa que os alunos preferem atividades lúdicas. A questão 22 – “Eu não percebi o tempo passar durante o jogo e quando vi ele acabou, ou seja, a aula passou rapidamente, mas consegui assimilar conteúdos importantes de forma agradável”, com cerca de 95% dos participantes

marcaram nota 4 ou 5, mostra que os alunos não percebem o passar da aula quando são utilizados recursos lúdicos como recurso para o aprendizado.

No questionário havia também um espaço dedicado a comentários positivos ou negativos, que os participantes poderiam preencher conforme achassem relevantes. Cabe destacar alguns deles:

- “Deveria haver mais dinâmicas como esta. Ela nos proporcionou um maior entendimento da metodologia Scrum e uma melhor interação com os colegas”;
- “Achei a dinâmica bem legal, acho que ela seria bem aplicada como introdução ao conteúdo, para posterior vir uma aplicação mais teórica utilizando a mesma como exemplo. Assim fica mais fácil fazer uma correlação no conteúdo com a vida real”;
- “Achei muito interessante os desafios dados no meio do projeto, pois mostram a realidade do mercado de trabalho”;

Alguns dos comentários foram negativos e devem ser levados em conta para melhorar o jogo:

- “Ficou faltando explicação de forma clara sobre as etapas do Scrum, e o Scrum Master tem que entender da regra do negócio”;
- “Existem regras no Scrum que não podem deixar de ser seguidas, ainda que o Scrum seja adaptável. Senti falta dos eventos do Scrum e dos PO (Product Owner) que não existia na equipe”.

6. Conclusão

Os alunos de hoje têm acesso a muitos recursos tais como o acesso a internet, o uso de smartphones, notebooks e muitos outros acessórios. Deste modo, é fácil perder o foco nas aulas tradicionais, em que o professor é o centro das atenções. Para evitar estas situações, é importante utilizar técnicas de ensino alternativas, como o lúdico, que auxilia, por exemplo, em disciplinas teóricas. Usar o jogo para o ensino foi uma ótima forma para fazer com que os alunos interagissem com o material proposto, ensinando-os o tema de forma prática.

O jogo Agility Scrum não tem o objetivo de mostrar de forma detalhada a metodologia Scrum, mas sim, usar uma forma prática de mostrar seus conceitos básicos saindo do ensino tradicional. Além disso, ele proporciona uma excelente interação entre os participantes, estimula a busca pelo conhecimento, visto tanto no aprendizado do Scrum, quanto em como utilizar os componentes eletrônicos. Os alunos ainda têm contato com benefícios e penalidades que simulam situações reais do cotidiano das empresas.

Como trabalhos futuros pretende-se utilizar o jogo em outras turmas e instituições. Além disso, aplicar o mesmo em turmas com alunos com idade superior a 30 anos, com o objetivo de verificar como será o comportamento dos participantes. Pretende-se também o desenvolvimento de uma versão online do jogo.

Referências

Alves A. M. P. (2009). “A história dos jogos e a constituição da cultura lúdica”. Revista Linhas v. 4, n. 1.

- Battistella, P. E. and Wangenheim, C. G. V. (2016). “ENgAGED: Um Processo de Desenvolvimento de Jogos para Ensinar Computação”. Simpósio Brasileiro de Informática na Educação - SBIE, Vol. 27, nº. 1.
- Blikstein, P. and Krannich, D. (2013). “The makers' movement and FabLabs in education: experiences, technologies, and research”. In Proceedings of the 12th international conference on interaction design and children (pp. 613-616). ACM.
- Bonwell, C. C. and Eison, J. A. (1991). “Active Learning: Creating Excitement in the Classroom”. 1991 ASHE-ERIC Higher Education Reports. ERIC Clearinghouse on Higher Education, The George Washington University, One Dupont Circle, Suite 630, Washington, DC 20036-1183.
- Castro, R. M. and Souza, G. S. (2016). “O Uso de Recursos Lúdicos para o Ensino de Processos em Engenharia de Software”. 24º WEI - Workshop sobre Educação em Computação, XXXVI Congresso da Sociedade Brasileira de Computação, Porto Alegre.
- Crawford, G., Gosling, V. K. and Light, B. (2013). “Gamers: the social and cultural significance of online games” (Vol. 56). Routledge.
- Gudigantala, N. (2013). “An active learning approach to teaching undergraduate introduction to MIS Course”. Paper presented at the 19th Americas Conference on Information Systems, Chicago, Illinois.
- Halverson, E. R. and Sheridan, K. M. (2014). “The Maker Movement in Education”. Harvard Educational Review, 84(4), 495–504,563,565.
- Kahl, K., Lima M. E. O. and Gomes, I. (2007). “Alfabetização: Construindo alternativas com jogos pedagógicos”. Extensio: Revista Eletrônica de Extensão, v. 4, n. 5.
- Oliveira, M. K. V. (1999). “Aprendizado e desenvolvimento, um processo sócio-histórico”. 4. ed. São Paulo: Scipione, 1999.
- Passerino, L. M. (1998). “Avaliação de jogos educativos computadorizados”. Taller Internacional de Software Educativo 98 - TISE' 98. Anais. Santiago, Chile.
- Pereira, P., Torreão, P. and Marçal, A. S. (2007). “Entendendo Scrum para gerenciar projetos de forma ágil”. Mundo PM, 1, 3-11.
- Reif, H. L. and Mitri, M. (2005). “How University Professors Teach Project Management for Information Systems”. Communications of the ACM, Vol. 48, nº. 8.
- Rossiou, E. and Papadakis, S. (2007). “Educational Games in Higher Education: a case study in teaching recursive algorithms”. University of Macedonia and The Hellenic Open University, 2007.
- Rubin, K.S. (2012). “Essential Scrum: a practical guide to the most popular agile process”. Ann Arbor: Pearson Education.
- Schwaber, K. (2004). “Agile project management with Scrum”. Microsoft press.
- Schwaber, K. and Beedle, M. (2002). “Agile software development with Scrum (Vol. 1)”. Upper Saddle River: Prentice Hall.
- Sutherland, J. and Schwaber, K. (2013). “The scrum guide. The Definitive Guide to Scrum: The Rules of the Game”. Scrum.org.

Proposta e Adaptação de Atividades Desplugadas para o Ensino de Computação na Educação Básica

Ariane N. Rodrigues, Renato H. de Oliveira Lopes

Licenciatura em Computação – Universidade de Pernambuco (UPE) – Campus Garanhuns – Pernambuco – Brasil

ariane.rodrigues@upe.br, renato.hill@gmail.com

Abstract. *Initiatives that promote the teaching of fundamentals of Computer Science can be enabled with activities of the unplugged method whose philosophy is to promote playful learning without the use of technological devices. This article describes the adaptation of the activity "Counting the Points", in addition to the presentation and integration with a new activity, "Turning the Circuit". As combined activities, contents such as the binary system and Boolean logic, their representation and the relationship with the internal workings of the computer can be promoted. The results of application in basic education, in view of the learning objectives of the activities, are also presented.*

Resumo. *Iniciativas que fomentam o ensino de fundamentos da Ciência da Computação podem ser viabilizadas com atividades do método desplugado cuja filosofia é promover a aprendizagem lúdica sem uso de aparatos tecnológicos. Este artigo descreve a adaptação da atividade "Contando os Pontos", além da apresentação e integração com uma nova atividade, a "Ligando o Circuito". Como atividades combinadas, conteúdos como o sistema binário e a lógica booleana, sua representação e a relação com o funcionamento interno do computador podem ser promovidos. Os resultados de aplicação na educação básica, diante os objetivos de aprendizagem das atividades, também são apresentados.*

1. Introdução

Aprender fundamentos da Ciência da Computação permite ao aluno desenvolver o raciocínio lógico, que para [Nunes 2011] é uma habilidade que auxilia no ensino de outras disciplinas da Educação Básica. Segundo [França e Amaral 2013], constantes debates acerca da implantação de um currículo de Computação no Brasil são promovidos e mesmo com um processo ainda incipiente, várias iniciativas são válidas. Pesquisas acadêmicas, práticas com a robótica, uso de softwares educativos para o ensino de programação e entre outras, são exemplos de iniciativas realizadas em escolas de várias partes do país.

Uma das principais vantagens em estimular a aprendizagem de conceitos de computação está em formar cidadãos criativos, capazes de pensar em soluções para problemas cotidianos. Para [Wing 2006], a habilidade de pensar e resolver problemas através de fundamentos da computação é definido por pensamento computacional. Os pilares do pensamento computacional consideram técnicas da computação como a

decomposição, abstração, reconhecimento de padrões e algoritmos que podem ser assimilados através de atividades desplugadas do livro “Computer Science Unplugged (CSU)” [Bell e Whitten e Fellows 2007]. O principal argumento do método desplugado está em ensinar fundamentos da área sem a necessidade de computador. Para [Costa et al 2012], este fato permite que práticas pedagógicas sejam realizadas em diferentes estruturas escolares, independente de hardware e/ou software.

O contexto desta pesquisa envolve um processo de criação de uma atividade desplugada para facilitar o entendimento do sistema binário como conceito principal da atividade “Contando os Pontos” do livro CSU. Percebe-se que na literatura há muitos relatos de aplicação desta atividade, sobretudo, pela exposição dos resultados e desafios enfrentados. Alguns autores consideram adaptações na aplicação, mas não descrevem ou justificam com clareza a sua natureza. Uma seção de trabalhos relacionados nesta pesquisa destaca relatos de aplicações da atividade “Contando o Pontos” e as adaptações adotadas. Esta pesquisa considera a importância em reportar as adaptações realizadas para que os conteúdos abstraídos possam ser melhor compreendidos pelos alunos, assim como facilitar novas aplicações. Deve-se considerar também a possibilidade de construir novas atividades que possam agregar as atividades do livro ao estimular possibilidades de praticar os conceitos assimilados. Acredita-se que divulgar adaptações além de novas atividades desta filosofia incentiva a concepção de materiais pedagógicos para a prática de ensino em computação nas séries iniciais.

Diante este contexto, este artigo tem como objetivo apresentar uma proposta de adaptação a atividade “Contando os Pontos”, além de apresentar uma nova atividade desplugada que pode ser combinada a ela. A atividade Ligando o Circuito foi concebida com o objetivo de promover a prática do conteúdo aprendido em Contando os Pontos. A recomendação é que elas possam ser combinadas na prática. Assim, os conteúdos de sistema binário e a lógica booleana são relacionados aos circuitos internos do computador através de um tabuleiro com peças que representam operadores lógicos como E (and), OU (or) e NÃO (not). Detalhes associados aos objetivos de aprendizagem da Ligando o Circuito, materiais necessários e como aplicar também são descritos neste artigo. Além disso, resultados da aplicação das atividades no 9º ano, com destaque para a verificação dos objetivos de aprendizagem das atividades também é apresentado. No geral, observou-se que houve aprendizagem dos conceitos associados as atividades na aplicação e os alunos se interessaram por aprender mais fundamentos da área de Computação.

2. Trabalhos Relacionados

Atualmente, o uso de computadores e celulares por crianças e adolescentes é muito frequente e há quem demonstre interesse em entender o funcionamento destes aparelhos e como eles são programados. Na prática, conceitos relacionados a Ciência da Computação podem ser aprendidos de diferentes formas, inclusive com a computação desplugada e as atividades do livro CSU. Em síntese, os conteúdos abordados nas atividades do livro ilustram a representação da informação (números binários e alfabetos), ordenação e busca de dados, autômatos de estados finitos, grafos e ocorrência e situações de impasse (deadlocks) [Bell e Whitten e Fellows 2007].

Diante este contexto, esta pesquisa apresenta trabalhos relacionados como o de [Sousa et al 2011], [Costa et al 2012] e [Vieira e Passos e Barreto 2013] que apresentam

relatos de experiência de aplicação das atividades desplugadas no ensino médio. Além disso, destacam-se os trabalhos de [Scaico et al 2012] e [Gonçalves et al 2013] que descrevem adaptações de atividades desplugadas. É importante considerar que estas pesquisas inspiram a idealização desta pesquisa, com foco na exposição das adaptações das atividades para melhorar a compreensão dos conceitos abstraídos de computação mantendo a ludicidade ao processo de aprendizagem. Em [Scaico et al 2012], descreve-se a experiência da aplicação da Atividade Contando os Pontos como proposta principal do trabalho, em uma escola pública de João Pessoa – PB nas turmas do 5º ao 9º ano do Ensino Fundamental. O autor descreve como adaptação a atividade a adição de mais cartões, estes com a representação de lâmpadas acesa e apagada. Ao considerar a operacionalização da dinâmica inerente a atividade deve-se considerar que a quantidade excessiva de cartões poderia atrapalhar e sobrecarregar o esforço cognitivo dos alunos. Mesmo assim entende-se que a ideia da representação agrega ao processo de aprendizagem. E, para facilitar a dinâmica, as representações das lâmpadas poderiam vir no mesmo cartão, na frente e verso.

O trabalho de [Gonçalves et al 2013] não relata aplicação de atividades do livro CSU mas apresenta um objeto de aprendizagem criado por estudantes de Licenciatura em Computação de Minas Gerais com o propósito de ensinar conceitos dos operadores lógicos na filosofia desplugada. O autor destaca um jogo de cartas chamado EvOU. O jogo é composto por dois tabuleiros com peças de encaixe. Cada tabuleiro é dividido em três partes, onde cada um tem espaços que permitem encaixar os cartões representados pelas operações lógicas “e”, “ou” e “não”, além do “0” e “1”. O objetivo é realizar as operações de acordo com cada tabuleiro e os cartões necessários para obter um resultado como saída. O autor não deixa claro se há desafios específicos para aplicação mas considera que o jogo é finalizado quando o aluno completa o encaixe de todo o tabuleiro. As características e estrutura deste jogo serviram como forte inspiração para a concepção da atividade Ligando o Circuito. Esta pesquisa defende a ideia de fomentar possibilidades de atividades que estimulem a capacidade de análise e interpretação dos alunos. Na Ligando o Circuito, os conceitos são representados em um circuito, como formato que referencia as placas internas de um computador. Desta maneira acredita-se que o aluno possa identificar a relevância do sistema binário, a lógica e a representação das portas lógicas o funcionamento do computador. Considerar que a divulgação das adaptações possa ajudar a evoluir atividades existentes, além de estimular práticas para o ensino de Computação, é um grande avanço para pesquisas que estimulam a qualidade de formação dos alunos da Educação Básica.

3. Atividades Desplugadas

3.1. Proposta de Adaptação – Contando os Pontos

A “Contando os Pontos” é a atividade que compõem o grupo de atividades do livro CSU que objetiva explicar a relação dos dados e a representação da informação pelos computadores. Por ser uma das mais escolhidas para aplicação, ela objetiva explicar o armazenamento e transmissão de dados com menção ao sistema binário. Em síntese, a atividade considera como material cinco cartões com pontos marcados (1, 2, 4, 8 e 16) em um lado e nada em seu verso. A sequência dos pontos representa os números na base dois como referência ao sistema de representação binária adotado pelos computadores.

Idealmente, os alunos precisam correlacionar os sistemas de representação (decimal e binário) para entender e converter os números de uma representação para outra.

Para uma aplicação efetiva da atividade, a ordem dos cartões deve ser considerada. Na prática, percebe-se que este requisito condiciona o aluno a memorizar o posicionamento dos cartões, o que impacta negativamente na compreensão do processo de conversão. Além disso, a forma “mecânica” de responder, no sentido de dar respostas sem cogitar a lógica da representação, inviabiliza o seu propósito. Para mitigar estes desafios, esta pesquisa propõe como adaptação a esta atividade a inclusão de mais cinco cartões com a representação de lâmpadas baseada na adaptação proposta em [Scaico et al 2012]. Neste sentido, o material necessário seriam dez cartões. Cinco deles equivalente ao material original, e os demais com a representação de lâmpadas acesas e apagadas, impressas frente e verso dos cartões, conforme ilustra a Figura 1.

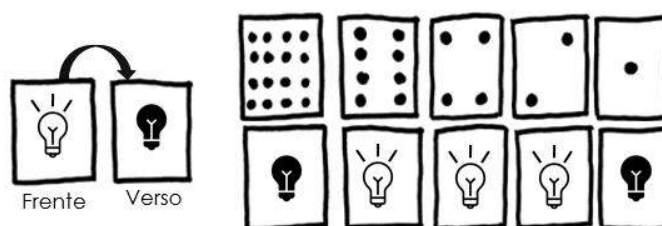


Figura 1. Proposta de adaptação de cartas com representações de lâmpadas.

Acredita-se que esta adaptação possa reforçar na representação, uma vez que os cartões das lâmpadas deverão ser usados junto aos cartões dos pontos. Recomenda-se que os cartões das lâmpadas possam ser posicionados à frente dos cartões dos pontos para que os alunos possam associar os valores 1 e 0 referente aos bits verdadeiro e falso, respectivamente para a lâmpada acesa e apagada. Esta representação, propositalmente integrada a atividade, faz referência a portas lógicas, como início para o entendimento da atividade Ligando o Circuito como nova atividade proposta na pesquisa. A próxima seção descreve com detalhes os objetivos de aprendizagem associados à atividade e seu propósito.

3.2. Atividade Lógica – Ligando o Circuito

A atividade Ligando o Circuito foi criada com o propósito de promover a prática dos conteúdos assimilados na atividade Contando os Pontos. Como atividades combinadas, a ligando o circuito fomenta a explicação da lógica booleana de George Boole com ênfase nos conceitos da tabela verdade dos operadores lógicos AND (e), OR (ou) e NOT (não) [Brookshear 2013]. Acredita-se que, ao adotá-la após a contando os pontos, a integração na aprendizagem pela lógica, sua representação e a relação ao funcionamento interno do computador possa ser promovida. A atividade é considerada desplugada porque segue a filosofia da Computação Desplugada sendo baseada em materiais como papel ofício A4, papelão e/ou borracha (e.v.a.). Em síntese, a atividade consiste na representação de um circuito eletrônico em forma de tabuleiro, como um jogo similar ao encaixe de peças. As peças referenciam as operações lógicas (and, or e not) contidas nos circuitos. Os destaques da Figura 2 ilustram o tabuleiro que representa o circuito (a); as peças representantes das operações com notações gráficas para as portas lógicas E, OU e NÃO (b); peça extra com função de fechar parte do circuito onde ela for inserida (c) e peças para o resultados das saídas do circuito (d).

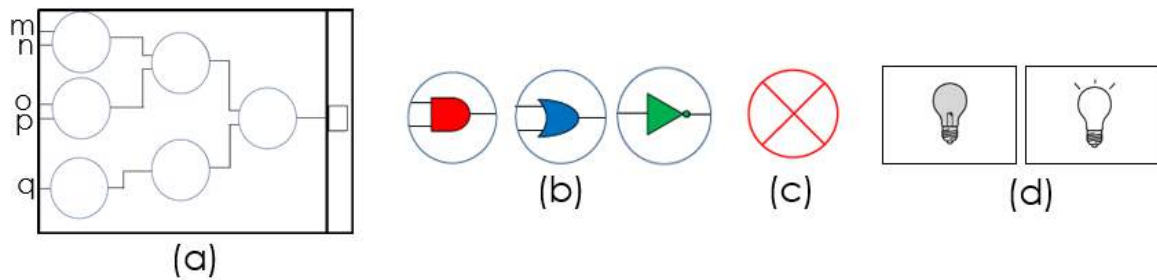


Figura 2. Materiais necessários a atividade Ligando o Circuito.

O circuito é composto por entradas (representadas pelos espaços circulares) e uma única saída (espaço retangular). Nas entradas, o aluno pode escolher e encaixar as peças dos operadores lógicos (b) e analisar o resultado das operações e indicar a saída com as peças das lâmpadas (d). Assim como a proposta para a atividade Contando os Pontos que considera a adaptação da representação com as lâmpadas, esta representação no circuito indica os resultados das operações lógicas associados aos valores 0 e 1 ao indicar ausência/presença de energia. Para auxiliar a compreensão da lógica das combinações dos operadores, um material de apoio foi criado com as tabelas verdades, adaptadas com a representação das lâmpadas e das portas lógicas.

Toda atividade desplugada possui objetivos de aprendizagem que consideram habilidades cognitivas que os alunos podem adquirir com sua aplicação. Os objetivos de aprendizagem da Ligando o Circuito foram definidos tendo como base a taxonomia de Bloom revisada [Krathwohl 2002] e pela estrutura de verbos e substantivos proposta em [Ferraz e Belhot 2010] e [Airasian e Miranda 2002]. Em síntese, os objetivos para esta atividade consideram quase todos os processos cognitivos da taxonomia (lembrar, entender, aplicar, analisar e avaliar). O único processo que não se relaciona é o criar porque a atividade não oferece a possibilidade do aluno criar algo novo diante os conteúdos relacionados às atividades. A Tabela 1 apresenta os enunciados de cada objetivo e sua relação com a categoria do conhecimento.

Tabela 1. Objetivos de aprendizagem da atividade Ligando o Circuito.

Objetivos	Enunciados	Processo do Conhecimento
OA1	Entender o armazenamento de dados do computador explicando o sistema binário.	Conceitual
OA2	Analisar e lembrar do funcionamento do sistema binário implementando a conversão de números binários em decimal e vice-versa presente na atividade “Contando os Pontos”.	Efetivo e Procedural
OA3	Entender o funcionamento de interpretação de dados pelo computador interpretando os operadores lógicos básicos utilizados no circuito.	Conceitual
OA4	Lembrar e aplicar as operações lógicas básicas reconhecendo as tabelas verdades e representações gráficas dessas operações presentes na atividade “Ligando o Circuito”.	Efetivo
OA5	Analisar, aplicar e avaliar os resultados das operações lógicas concluindo a dinâmica do circuito apresentado na atividade “Ligando o circuito”.	Procedural e Metacognitivo

Pode-se destacar que os objetivos OE2, OE4 e OE5 combinam mais de um processo cognitivo. Esta flexibilidade, inerente a taxonomia revisada, favorece o estímulo a diferentes processos cognitivos simultaneamente durante a aprendizagem. Os processos do conhecimento, quando mapeados aos objetivos, relacionam o tipo de

conhecimento a ser adquirido ao processo cognitivo. Neste caso, o OE1 mapeado ao processo conceitual considera que o aluno precisa compreender conceitos inerentes ao armazenamento de dados através do sistema binário. No OE2, os processos efetivo e procedural consideram que os alunos precisam lembrar de detalhes do sistema binário para utilizar a técnica de conversão, respectivamente. Por sua vez, o OE3, mapeado ao processo conceitual, os alunos precisam entender e interpretar cada operação para posteriormente aplicar a lógica no circuito. Neste sentido, o OE4 considera o processo efetivo porque é necessário que o aluno lembre da associação entre as operações booleanas e suas notações gráficas, além dos valores binários (0 ou 1) para lâmpada acesa ou apagada. Por fim, o OE5 quando mapeado aos processos procedural e metacognitivo, reforçam a prática pela combinação das operações lógicas do circuito, que cabe ao aluno avaliar o contexto do circuito diante o posicionamento das peças e indicar o resultado corretamente. Este último objetivo também considera que o aluno precisa definir suas próprias estratégias metacognitivas ao escolher as peças que o levem a alcançar os desafios do circuito. É importante considerar que esta atividade estimula a liberdade de escolha, pois, diferentes possibilidades de encaixe podem ser idealizadas pelos alunos a cada desafio. Os desafios, os materiais necessários, o tempo estimado para aplicação, e outros aspectos foram descritos em um guia baseado no modelo de apresentação das atividades do livro CSU. A próxima seção apresenta alguns aspectos dele.

3.3. Guia para aplicação das atividades

Qualquer pessoa que tenha interesse em aplicar as atividades desplugadas encontra no guia detalhes que o oriente na execução. Idealmente, ele foi criado para o professor ou licenciado em computação porque indica ações para a execução como pela promoção de discussões e forma de avaliação alinhada aos objetivos de aprendizagem.

Por recomendação, a atividade Ligando o Circuito pode ser aplicada em duplas ou trios (a depender da quantidade da turma). O material necessário para cada dupla/trio são: circuito, grupo de peças (portas lógicas (6), função extra (1) e saída (2)) e guia de tabelas verdades. Esta atividade deve ser apresentada após a Contando os Pontos adaptada. Para que os alunos possam colocar em prática o raciocínio lógico, três desafios devem ser apresentados. A Tabela 2 apresenta a descrição dos desafios, assim como as possíveis discussões que podem ser idealizadas durante o jogo.

Tabela 2. Desafios da atividade Ligando o Circuito.

Desafios	Descrições	Discussões
01	Considere os valores (m, n, o, p, q) de entrada das portas lógicas do circuito. Encaixe os operadores lógicos para que o resultado de saída seja lâmpada acesa.	Há diferenças na quantidade de entradas nos operadores lógicos. O aluno precisa perceber que as portas and e or possuem duas entradas, enquanto que a not possui apenas uma.
02	Considere os valores (m, n, o, p, q) de entrada das portas lógicas do circuito. Encaixe os operadores lógicos para que o resultado de saída seja lâmpada apagada.	
03	Substitua uma peça do circuito do Desafio 2 por uma peça restante. Analise o resultado da saída do circuito.	A mudança do operador lógico influencia diretamente no resultado do circuito.

O professor precisa definir os valores de entrada do circuito (destaque (a) figura 2). Como exemplo, os valores (1, 0, 0, 0, 1) servem para que o aluno consiga analisar as possibilidades de encaixe das portas lógicas para obter os resultados corretos a cada desafio. Para cada desafio, discussões podem ser levantadas e esclarecidas durante a aplicação. Como avaliação, pode-se observar e verificar se os desafios foram resolvidos, considerando os objetivos 3, 4 e 5. Além disso, o guia também indica um questionário com perguntas que investigam o entendimento dos alunos com referência aos objetivos de aprendizagem das atividades. A próxima seção apresenta detalhes da aplicação com destaque para os resultados.

4. Aplicação das atividades

Quatro atividades básicas foram definidas para guiar a aplicação das atividades desplugadas. A Tabela 3 sintetiza as atividades e as tarefas associadas a cada uma delas.

Tabela 3. Atividades e tarefas estabelecidas para aplicação das atividades desplugadas.

Atividades	Tarefas
Preparação	- Preparar os materiais necessários as atividades; definir e elaborar o questionário para avaliação de aprendizagem e; executar um teste piloto.
Execução	- Explicar e conduzir a dinâmica de aplicação pela sequência das atividades desplugadas; observar e registrar o desempenho dos participantes a cada desafio e; aplicar o questionário.
Interpretação	- Reunir e sumarizar os dados coletados com o questionário.
Consolidação dos Resultados	- Relatar os resultados obtidos, sob a ótica das respostas do questionário alinhadas aos registros da execução.

A etapa de preparação é essencial porque envolve um planejamento necessário para a condução da aplicação. Neste caso, todos materiais foram impressos e organizados diante a quantidade de participantes considerados para um teste piloto antes da aplicação principal. Um questionário foi elaborado com nove assertivas baseadas nos objetivos de aprendizagem das atividades para obter informações acerca da aprendizagem dos participantes após a aplicação. Para cada assertiva, o participante deveria indicar “Concordo”, “Indeciso” ou “Discordo”. Duas perguntas abertas também foram consideradas para obter opinião sobre a contribuição das atividades para a aprendizagem em computação. Além disso, o grau de satisfação ao aprender com as atividades, em uma escala de (0 nenhuma - 5 muita) também foi um aspecto questionado. O piloto foi executado com vinte estudantes do primeiro período do curso de Licenciatura em Computação da Universidade de Pernambuco com o intuito de avaliar a dinâmica provida pelos materiais das atividades e seu impacto sobre a aprendizagem junto ao instrumento de avaliação. A participação dos estudantes foi efetiva, e por eles ainda não possuírem o conhecimento a respeito dos conteúdos abordados, acredita-se que não houve influências que inviabilize a aplicação. Com a aplicação piloto, informações relevantes foram identificadas, como o tempo necessário para a aplicação das atividades (média de 2h) e o nível de dificuldades dos desafios. Além disso, alguns ajustes nas peças também foram considerados para a execução principal da aplicação.

Em relação a aplicação principal, as atividades foram aplicadas com vinte alunos do 9º ano do ensino fundamental da Escola Professora Ivonita Alves Guerra, com

duração média de duas horas. A escolha do ano considera a faixa etária recomendada pelas próprias atividades desplugadas e a seleção dos participantes foi aleatória. Foi utilizado o recurso datashow apenas para a apresentação das definições e informações acerca dos conteúdos necessários à aplicação (sistema binário e operações booleanas). Primeiro a atividade adaptada Contando os Pontos foi executada, em seguida, Ligando o Circuito. Os participantes mostraram interesse e participaram ativamente das duas atividades. Perguntas a respeito da interpretação dos desafios a serem realizados foram sendo esclarecidas ao longo do processo. A execução foi conduzida por apenas um licenciado, com experiência em sala de aula, provida pelas práticas e estúgios.

5. Resultados

Esta seção apresenta os resultados de aprendizagem identificados pela aplicação principal das atividades desplugadas. Durante a execução, observou-se a participação com o intuito de verificar se os desafios foram resolvidos. Em alinhamento a esta percepção, os resultados do questionário indicam quais os objetivos de aprendizagem foram adquiridos, sob a ótica dos participantes.

A aplicação da atividade Ligando o Circuito foi realizada em duplas, totalizando dez duplas. No geral, dos três desafios, apenas duas duplas não conseguiram concluir apenas o primeiro desafio. Atribui-se este resultado a dificuldade inicial em compreender a lógica associada aos operadores. Observou-se também que a boa interação entre as duplas proporcionou uma aprendizagem discursiva entre eles. Para sintetizar os resultados, a Tabela 4 apresenta a relação das assertivas do questionário aos objetivos e o percentual para cada opção de resposta (Concordo (C), Indeciso (I) e Discordo (D)).

Tabela 4. Resultados das assertivas do questionário de avaliação.

Objetivos	Resultados	Percentuais		
	Assertivas	C	I	D
OE1 e OE2	Conseguir associar a representação da lâmpada a sua função na atividade Contando os Pontos.	100%	0%	0%
	Depois da atividade Contando os Pontos consigo converter um número binário em decimal, assim como um decimal em binário.	100%	0%	0%
	Depois da atividade Contando os Pontos consegui entender e explicar o sistema binário e o armazenamento de dados do computador.	80%	20%	0%
OE3 e OE4	É fácil diferenciar as portas lógicas pela representação simbólica utilizada na atividade de Ligando o Circuito.	60%	30%	10%
	É difícil entender a lógica dos operadores usados na atividade Ligando o Circuito.	30%	25%	45%
	Entendi a lógica das operações booleanas e conseguiria analisar o resultado em outro circuito.	45%	35%	20%
OE5	Entendi os conceitos booleanos após usar o circuito e a atividade contando os pontos.	75%	25%	0%
	Achei os desafios da atividade Ligando o Circuito muito difíceis.	20%	30%	50%

Com os resultados expostos pela Tabela, pode-se considerar que a aprendizagem foi satisfatória. Em síntese, os alunos conseguiram atingir os processos cognitivos estabelecidos como objetivos das atividades. Percebeu-se que houve aprendizagem pela compreensão da ideia da representação da lâmpada e sua relação com a conversão do

sistema binário. Em relação ao reconhecimento das representações associadas às portas lógicas, percebeu-se que a maioria conseguiu diferenciá-las. Apesar disso, o que deve ser considerado é a interpretação necessária para realizar as operações nos desafios. Entender a lógica das operações é essencial e mesmo com apoio do material das tabelas verdade, alguns alunos apresentaram dificuldades neste aspecto. Em relação ao grau de satisfação em aprender com as atividades, pela escala de 0 a 5, obteve-se respostas para 3 (20%), 4 (35%) e 5 (45%). Isto demonstra que houve forte aceitação e satisfação com a dinâmica. Atribui-se a este resultado, a atratividade inerente às atividades que tendem a prender a atenção e estimular o aluno a pensar para resolver os desafios semelhante a jogos de lógica e quebra-cabeça.

6. Conclusões

Esta pesquisa apresenta a adaptação e integração de atividades desplugadas como incentivo ao ensino de Computação na educação básica. A proposta de adaptação da “Contando os Pontos” considera a representação das lâmpadas acesa e apagada como referência aos bits 1 e 0, verdadeiro e falso. Por sua vez, a atividade Ligando o Circuito considera a possibilidade prática de aplicar os conteúdos assimilados na contando os pontos de forma lúdica referente ao jogo de tabuleiro. Esta atividade enfatiza a lógica booleana associada aos circuitos e funcionamento interno do computador como pelo armazenamento e transmissão de dados. Como materiais de cunho pedagógico ao fomento do pensamento computacional, pode-se considerar a validade das atividades diante os resultados obtidos pela aplicação. Pode-se considerar que a atividade relaciona a técnica de abstração ao ignorar detalhes internos específicos aos componentes do processador. A atividade simula um circuito, logo, uma representação (ideia abstraída) de como as operações lógicas são organizadas nele. O aluno pode analisar os resultados das operações lógicas e assim entender melhor a lógica adotada pelo computador para processar as informações. Esta representação reforça e alinha a aplicação do sistema binário. Como próximos passos, pretende-se considerar alterações a atividade Ligando o Circuito como modificações do circuito pela adição de novas entradas e possibilidade de uso de mais portas lógicas, além de novos desafios de diferentes níveis de dificuldade, para assim dinamizar ainda mais o processo de aprendizagem em novas aplicações.

Referências

- Airasian, P. W. e Miranda, H. (2002) “The Role of Assessment in the Revised Taxonomy”.
- Bell, T. e Whitten, I. e Fellows, M. (2007) “Computer Science Unplugged”. Universidade de Canterbury, Nova Zelândia. Disponível em: <http://csunplugged.org>.
- Brookshear, J. G. (2013) *Ciência da Computação Uma visão Abrangente*. 11º edição, Editora Bookman.
- Costa, T. e Batista, T. e Maia, M. e Almeida, L. e Farias, A. (2012) “Trabalhando Fundamentos de Computação no Nível Fundamental: experiência de licenciandos em Computação da Universidade Federal da Paraíba”. In: XX Workshop de Educação em Computação (WEI'2012). Curitiba, PR, Brasil.

- Ferraz, A. P. do C. M. e Belhot, R. V. (2010) “Taxonomia de Bloom: revisão teórica e apresentação das adequações do instrumento para definição de objetivos instrucionais”. *Gest. Prod.*, São Carlos, v. 17.
- França, R. S. de, Amaral, H. J. C. do. (2013) “Ensino de Computação na Educação Básica no Brasil: Um Mapeamento Sistemático”. In: XXI Workshop sobre Educação em Computação.
- Gonçalves, D. A. S. e Silva, G. M. da e Luz, R. S. da e Silva, E. P. (2013) “Relato de experiência de alunos do curso de Licenciatura em Computação do IFMG-campus Ouro Branco na utilização de objetos de aprendizagem desplugados e do Scratch como instrumentos no ensino de programação”. In: Anais dos Workshops do Congresso Brasileiro de Informática na Educação.
- Krathwohl, D. R. (2002) “A revision of Bloom's taxonomy: An overview. Theory into practice” v. 41, n. 4, p. 212-218.
- Nunes, D. J. (2011) “Ciência da computação na educação básica” In: *Jornal da Ciência*, v. 9.
- Scaico, P. D. e Henrique, M. S. e Cunha, F. O. M. e Alencar, Y. M. de (2012) “Um Relato de Experiências de Estagiários da Licenciatura em Computação com o Ensino de Computação para Crianças”. *RENOTE*, v. 10, n. 3.
- Sousa, R. V. e Barreto, L. P. e Andrade, A. e Abdalla, D. (2011) “Ensinando e aprendendo conceitos sobre ciência da computação sem o uso do computador: Computação Unplugged!!” *Jornada de Atualização em Informática na Educação*, v. 1, n. 1.
- Vieira, A. Passos, O. Barreto, R. (2013) Um Um Relato de Experiência do Uso da Técnica Computação Desplugada.
- Wing, J. M. (2006) “Computational thinking”. *Communications of the ACM*, v. 49.

Logic in a Logic Way: um Aplicativo para Exercitar a Resolução de Problemas de Lógica da Olimpíada Brasileira de Informática

Rafael Gauna Trindade¹, Cassiano Andrei Dias da Silveira Schneider¹
Andrea Schwertner Charão¹

¹ Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)
Santa Maria – RS – Brasil

{rtrindade, cschneider, andrea}@inf.ufsm.br

Resumo. A Olimpíada Brasileira de Informática (OBI) mobiliza um grande número de alunos do país todos os anos. Na modalidade Iniciação, os competidores resolvem problemas de lógica, sem uso do computador. Visando ampliar as alternativas para preparação dos competidores nessa modalidade, desenvolveu-se o aplicativo móvel “Logic in a Logic Way”, que apoia o usuário no emprego de um método sistemático de resolução de problemas textuais de lógica. Neste artigo, apresenta-se o projeto, implementação e teste do aplicativo por tutores com experiência na preparação de alunos para a OBI. Os resultados apontam possíveis melhorias para o aplicativo, que encontra-se disponibilizado com código aberto.

Abstract. The Brazilian Olympiad of Informatics (OBI) mobilizes a large number of students in the country every year. In the competition named “Initiation”, the competitors solve logic problems without using the computer. In order to expand the alternatives for the preparation of the competitors in this modality, we developed “Logic in a Logic Way”, a mobile application which supports the user in the use of a systematic method of solving textual problems of logic. In this article, we present the design, implementation and test of this application by tutors with experience in preparing students for OBI. The results indicate possible improvements to the application, which is available as an open source software.

1. Introdução

Resolver problemas de lógica, para muitas pessoas, pode não ser algo espontâneo nem simples. Esse tipo de problema é trabalhado em uma das modalidades da Olimpíada Brasileira de Informática (OBI), denominada “Iniciação”, que é voltada para alunos do ensino fundamental. Muitas escolas e universidades desenvolvem atividades visando incentivar e preparar alunos para a OBI, em todas suas modalidades, enfrentando desafios inerentes a esta difícil tarefa.

Para apoiar a preparação dos competidores, a coordenação da OBI indica alguns materiais de apoio ¹. Na modalidade “Programação”, os competidores resolvem problemas no computador e os materiais de apoio incluem diversos ambientes *on-line* de ensino

¹Disponíveis em: <http://olimpiada.ic.unicamp.br/pratique/estude>

de programação, com recursos variados (áudio e vídeo, correção automática, etc.). Já na modalidade Iniciação, as alternativas se reduzem a um livro sobre o tema [Martins 2011] e a alguns problemas *on-line* com correção automática.

Diante deste cenário, e com base na experiência dos autores na preparação de competidores para a OBI, surgiu a ideia de desenvolver um aplicativo móvel de apoio aos treinos para a modalidade Iniciação, que é mais carente de alternativas. O aplicativo, denominado “Logic in a Logic Way”, inspira-se na metodologia de resolução de problemas de lógica sugerida na bibliografia básica [Martins 2011], porém mapeando-a à interface de dispositivos móveis.

O restante deste artigo está organizado como segue. Na seção 2, apresenta-se o contexto de onde surgiu o problema e a motivação para este trabalho, relacionando-o com trabalhos correlatos. Na seção 3, apresenta-se o desenvolvimento do aplicativo, elencando seus requisitos e descrevendo sua arquitetura e interface com o usuário. Na seção 4, descreve-se uma avaliação preliminar do aplicativo e, na seção 5, apresentam-se considerações finais.

2. Contextualização

A OBI insere-se num contexto amplo da sociedade atual que, por um lado, gera uma grande demanda por pessoas que entendam de computação e informática e que, por outro lado, enfrenta desafios para formar tais pessoas. As competições científicas, tais como a OBI, têm mobilizado muitos alunos e professores em torno de provas que, além de servirem para identificar jovens talentos, se prestam também a exercitar a compreensão e resolução de problemas.

Ao se prepararem para as provas, novos competidores e seus preparadores podem se apoiar em relatos de experiências anteriores [de Barros et al. 2009, de Almeida Machado et al. 2010, de Barros e Oeiras 2010]. Mais do que isso, a preparação requer que os competidores pratiquem a resolução de problemas e superem suas dificuldades. Nesse sentido, é desejável que existam diferentes opções para as práticas, de forma a acomodar preferências e estilos individuais.

Na próxima subseção (2.1), apresenta-se o contexto específico que motivou a criação do aplicativo, caracterizando o problema que se deseja resolver. Na subseção seguinte (2.2), discute-se trabalhos correlatos que se inserem em contextos semelhantes, porém com abordagens diferentes.

2.1. Problema e Motivação

A experiência que deu origem a este trabalho é um projeto de extensão da Universidade Federal de Santa Maria, que oferece capacitação para a OBI na modalidade Iniciação, a alunos de várias escolas da cidade de Santa Maria e região. A equipe do projeto é composta por discentes e professores da Universidade, que planejam e realizam treinos semanais com alunos da educação básica, durante os meses que antecedem as provas da OBI.

Como material de apoio para os treinos, são usadas as provas de OBIs passadas e slides elaborados pela equipe do projeto, com orientações sobre métodos de resolução de cada tipo de problema e exemplos resolvidos passo-a-passo. O material é disponibilizado

em um *site*². A bibliografia básica [Martins 2011] é usada como referência pelos tutores e recomendada no *site* mas, para o público-alvo do projeto, foi considerada pouco acessível pela linguagem utilizada, que contém muitos termos desconhecidos deste público.

Nos encontros semanais preparatórios, geralmente aos sábados e com duração de cerca de 3 horas, reserva-se alguns minutos para explicações a toda a turma e, no restante do tempo, os alunos resolvem problemas com lápis e papel e recebem orientações individualizadas dos tutores. Entre um encontro e outro, os alunos são incentivados a resolver problemas em casa e/ou na escola, mantendo contato com tutores via um grupo em rede social. Esta metodologia é semelhante à de outros projetos preparatórios para a OBI e, como se pode notar, não é muito diferente do que ocorre em aulas convencionais, que alternam teoria e prática.

Uma dificuldade observada na preparação para a OBI foi o comprometimento dos alunos com a prática frequente da resolução de problemas de lógica. De fato, poucos foram os alunos que resolveram problemas fora dos encontros com tutores. Ao se investigar os motivos disso, notou-se que os alunos percebem como “antiquada” a resolução dos problemas com lápis e papel, já que muitos são habituados a usar computador e *smartphones*. Embora as provas da modalidade Iniciação não usem computador, nota-se que os alunos se sentem motivados e à vontade com esse meio.

Diante disso, buscou-se opções para que os alunos pudessem diversificar suas práticas de resolução de problemas mas, conforme será detalhado na seção 2.2, não encontrou-se uma alternativa que aliasse a profundidade dos problemas de lógica da OBI à atratividade de equipamentos como *smartphones* e *tablets*. Mais do que isso, vislumbrou-se a possibilidade de usar esses meios para guiar os alunos numa abordagem metódica de resolução dos problemas, tal como sugerido na bibliografia básica [Martins 2011].

2.2. Trabalhos Correlatos

Sistemas que focam no desenvolvimento de lógica básica, como a resolução de quebra-cabeças rápidos, são encontrados em plataformas web ou aplicações para dispositivos móveis (Lumosity³, Fit Brains⁴, Brain Challenge⁵, (Figura 1) etc). Entretanto eles visam somente a interpretação visual dos problemas propostos, diferentemente do aplicativo proposto que, ao se basear primariamente em problemas da Olimpíada Brasileira de Informática, visa auxiliar na resolução de problemas que necessitam uma etapa de leitura e interpretação e que não possuem recursos visuais que forneçam alguma espécie de ajuda.

É importante ressaltar que os tipos de problemas de lógica textuais que a OBI emprega mostram-se mais relevantes que desafios de lógica visuais, pois destacam o potencial para identificar alunos com vocação natural para entender e descrever procedimentos com o rigor similar àquele necessário no desenvolvimento de programas de computador [Martins 2011].

Quanto a outros trabalhos que relatam experiências de capacitação para a OBI, pode-se dizer que todos destacam a importância da prática na resolução de problemas. Há autores que incentivam essa prática por meio da realização de simulados da

²Disponível em: <http://obi.inf.ufsm.br>

³Lumosity (Lumosity): <https://www.lumosity.com>

⁴FitBrains (Roseta Stone Ltd.): www.fitbrains.com

⁵Brain Challenge (Gameloft): <https://www.gameloft.com/pl/game/brain-challenge>

OBI [de Barros et al. 2009], promovendo um ambiente competitivo também nos treinos. Há autores que sugerem a possibilidade de transpor determinados problemas da OBI para mini-jogos de computador [de Almeida Machado et al. 2010], embora esta abordagem seja mais adaptada à modalidade Programação. Como ferramenta mediadora do aprendizado, apenas o Moodle é citado em alguns trabalhos [de Barros et al. 2009, de Barros e Oeiras 2010], como repositório de materiais e atividades e também para comunicação entre alunos e tutores.

Pode-se perceber, pela análise de trabalhos correlatos, que há um nicho pouco explorado, que pode tirar proveito da atratividade de aplicativos móveis ao utilizá-los no contexto específico de problemas de lógica da OBI, como forma de incentivar a prática de estratégias de resolução.

3. Desenvolvimento do Aplicativo

Uma ideia presente desde o início do desenvolvimento é que o aplicativo não deveria ser meramente um jogo no estilo *quiz* (somente perguntas e respostas), mas sim uma ferramenta que tornasse desnecessário o uso de papel para a resolução dos problemas, oferecendo recursos que guiassem o usuário a aplicar estratégias de resolução estudadas nos treinos.

Outra ideia presente é que o aplicativo não deveria fornecer ao usuário nenhuma ajuda explícita, sob forma de pistas ou dicas que diminuíssem o esforço de raciocínio por parte do usuário na resolução de um problema, conseguindo com isso simular em parte o ambiente encontrado nas provas da OBI.

Considerando esses princípios norteadores, foram definidos os demais requisitos do aplicativo.

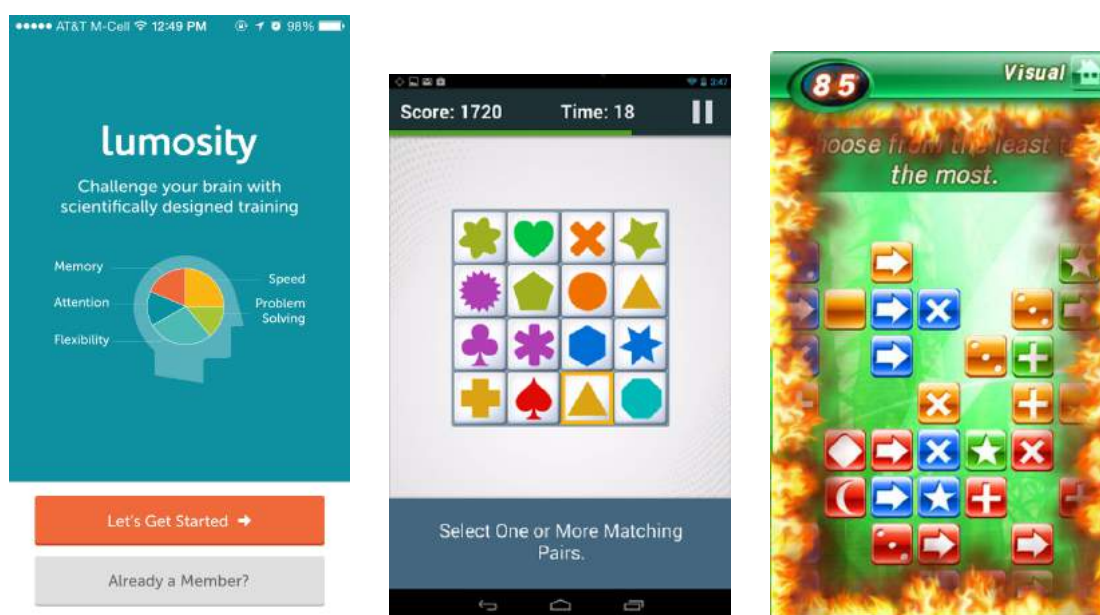


Figura 1. Capturas de tela das aplicações Lumosity, Fit Brains e Brain Challenge

3.1. Requisitos

Para manter a identificação a OBI, decidiu-se que o aplicativo apresentaria os problemas de forma textual, com uma descrição do cenário e regras do problema, uma pergunta e as opções de resposta, exatamente como as provas da modalidade Iniciação. Essa apresentação, no entanto, deveria ser adaptada aos dispositivos móveis.

Para oferecer experiências com muitos problemas, surgiu a necessidade de se obter e classificar todos os dados originais dos problemas da OBI (Iniciação), sendo eles:

- Tipo dos problemas;
- Título dos problemas;
- Descrição dos problemas;
- Regras dos problemas;
- Quantidade de questões relacionadas a cada problema;
- Descrição de cada questão;
- Relação de opções de resposta para cada questão.
- Relação de respostas corretas para cada questão.

Para o armazenamento dos problemas, projetou-se um banco de dados interno de problemas e questões para a aplicação. Tal banco pode ser alimentado pela internet, quando novos problemas forem disponibilizados.

Ao interagir com o aplicativo, o usuário deve selecionar um problema, ler sua descrição (cenário e regras) e então escolher as questões relacionadas para responder. Somente ao responder todas as questões o usuário tem acesso a um botão para verificação das respostas. Durante a leitura da descrição, dois recursos estão disponíveis: “Marca Texto” e “Sistema de apoio”, recursos criados para substituir o papel de rascunho para resolver os problemas. O recurso “Marca Texto” permite ao usuário selecionar e salvar qualquer parte do contexto que desejar e o “Sistema de apoio” permite manipular os elementos que estão no contexto, transformando-os em representações esquemáticas das regras lógicas para responder as questões corretamente.

Uma regra lógica, no aplicativo, consiste em um número de campos preenchidos de forma condizente com o contexto do problema. O número de campos, o valor em cada campo e seu estado ‘ativo’ ou ‘inativo’ são determinados pelo usuário. Durante a criação de uma regra lógica, pode-se escolher variáveis próprias do problema para preencher a quantidade de campos desejados para tal. Essas variáveis então devem se encontrar no banco de dados da aplicação e devem ser disponibilizadas juntamente com os problemas. Visto que cada problema pode ter variáveis diferentes que o descrevam, e que não há padrões no texto para uma extração automatizada e simples das mesmas, sua extração deve ser realizada manualmente pela equipe de desenvolvimento do aplicativo.

3.2. Arquitetura e Implementação

O aplicativo é destinado para sistemas Android, encontrado facilmente em *smartphones* e *tablets* de baixo custo. A versão mínima da API para a qual foi projetado é a 19 (Android 4.4). Essa versão dispõe de um banco de dados local, necessário para atender aos requisitos definidos anteriormente.

Para a manutenção do banco de dados local, implementou-se um repositório de problemas *on-line*, com o qual a aplicação se comunica no padrão cliente-servidor. Esse

repositório é um servidor em Django/Python, que faz uso de uma API REST minimalista para download de novos problemas. O servidor retorna arquivos no formato JSON, como ilustrado na Figura 2, dos quais a aplicação extrai os dados necessários para apresentar um problema e suas respectivas questões e armazená-lo em seu banco de dados local.

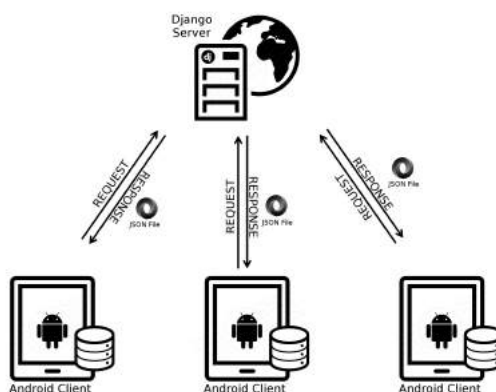


Figura 2. Arquitetura cliente-servidor empregada

3.3. Interface com o Usuário

Para o design da interface, optou-se pelo uso somente da API padrão do Android para interfaces de usuário. No início do aplicativo, é exibida a tela de carregamento, onde verifica-se a existência de novos problemas no repositório. Então o menu principal apresenta-se com quatro opções, conforme apresentado na Figura 3(b): resolver problemas, visualizar estatísticas sobre problemas resolvidos, ver um tutorial de como utilizar a aplicação e visualizar detalhes sobre os criadores da aplicação.

Ao selecionar-se a opção “Resolva”, é exibida uma lista (Figura 3(c)) com todos os problemas disponíveis na aplicação. Após selecionar-se um problema, é exibida uma tela com sua descrição e uma lista enumerando as questões relacionadas.

A tela do problema é implementada como uma *activity* Android contendo três painéis principais, ou fragmentos (*fragments* Android), que o usuário pode alternar com um simples deslizar de dedo na tela:

- O fragmento com a descrição do problema, que aparece primeiro e localiza-se no meio dos outros fragmentos (Figura 4(a));
- O fragmento para criação de regras, situado à esquerda, onde o usuário pode visualizar em formato de lista as regras de lógica criadas, e tem acesso ao recurso para criação de novas regras, além da edição de regras já existentes (Figura 4(b));
- O fragmento para a listagem de conteúdo marcado, situado à direita, onde trechos da descrição podem ser exibidos separadamente, colocando-os em destaque e possibilitando uma fácil releitura (Figura 4(c)).

No fragmento da descrição, encontra-se abaixo a lista de questões relacionadas ao problema. Ao se clicar em uma questão, a lista é ocultada e dá lugar à descrição e às opções da questão selecionada (Figura 5(a)). Após respondida, uma questão é sinalizada como tal com a cor azul na lista de questões. Somente ao se responder todas as questões, um botão para conferência do resultado é apresentado (Figura 5(b)), o qual,

quando pressionado, indica ao aplicativo que uma análise das respostas dadas seja realizada. Após analisadas as respostas, a aplicação recolora a lista de questões com duas cores: verde para questões corretamente respondidas e vermelho para as com respostas incorretas (Figura 5(c)).

O procedimento para a criação de uma marcação consiste em selecionar o trecho de texto desejado e tocar em “Marcar e lembrar” (ver Figura 6(a)). O texto destacado será



Figura 3. Telas apresentadas no início do aplicativo



Figura 4. Telas com os painéis presentes na resolução de um problema

exibido em separado no painel de marcações, como visto anteriormente na Figura 4(c). Cada marcação pode ser removida separadamente, caso seja desejado.

Para a criação de regras lógicas, um botão para adição de regras é encontrado no painel esquerdo. É exibido ao usuário um diálogo que permite escolher quantas casas uma regra terá, seja de posicionamento ou ordenação ou implicação lógica. O usuário escolhe a variável que preencherá o campo dentre as disponíveis para o problema corrente, escolhe se cada campo será negado ou não, e então cria uma regra que será exibida em lista juntamente com as outras criadas, conforme visto anteriormente na Figura 4(b). A Figura 6(b) mostra o diálogo de criação de uma regra.

4. Testes e Resultados

O desenvolvimento do aplicativo atingiu uma versão estável e propensa a testes no final de 2016, período em que não havia treinos para a OBI previstos no projeto. Assim, primeiramente, submeteu-se o aplicativo a testes de aceitação com tutores do projeto de extensão que, embora não sejam o principal público-alvo, também devem conhecer e utilizar este recurso. Estes tutores estavam familiarizados com estratégias de resolução usando lápis e papel.

Nestes testes, encontraram-se principalmente problemas com a adaptação da interface gráfica para diversos tamanhos de telas. Um dos desafios a ser vencido é o pouco espaço em tela para a criação de regras de muitas casas, embora esta limitação só seja percebida em alguns problemas da OBI (mais difíceis). Outro fator relacionado é o apelo visual da aplicação, que pode ter seu design gráfico melhorado.

De modo geral, a experiência com todos os recursos combinados auxiliou satisfatoriamente os tutores. A necessidade de uma folha de papel para rascunho foi sendo

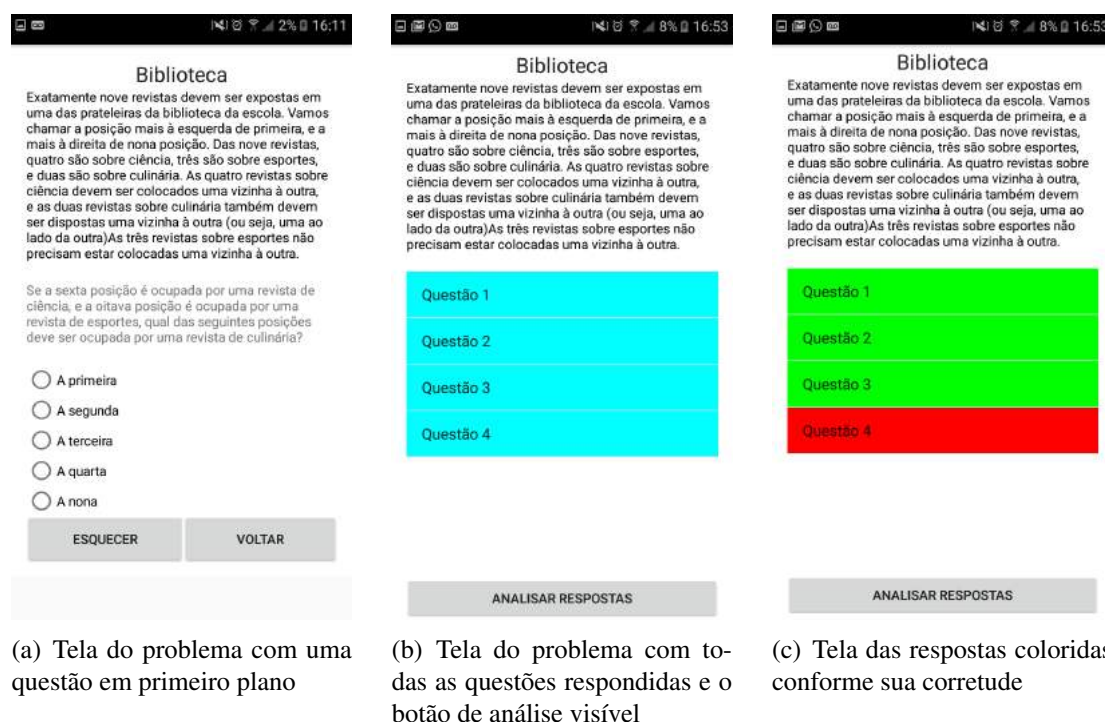


Figura 5. Telas encontradas durante a resolução de um problema

eliminada aos poucos, questão após questão, uma vez dominada a maneira mais natural de usar os recursos a favor do usuário.

5. Conclusão e Trabalhos Futuros

Neste trabalho, desenvolveu-se o aplicativo “Logic in a Logic Way”, uma ferramenta para diversificar as práticas de resolução de problemas de lógica da OBI, na modalidade Iniciação. Utilizando tecnologias para dispositivos móveis, a ferramenta visa ser atrativa ao público, contrastando com práticas de resolução de problemas apenas com lápis e papel. O aplicativo transpõe para sua interface as mesmas estratégias de resolução utilizadas no meio analógico, apresentando-se como uma opção e não como um substituto.

O aplicativo é um software de código aberto, disponível em um repositório público ⁶. Seu desenvolvimento ainda está em curso: novos recursos estão sendo planejados para a ferramenta, além de extensão e aprimoramento dos já existentes. Dentre eles, cabe citar:

- Suporte a novos tipos de problemas;
- Melhorias na interface gráfica;
- Recurso para a criação de anotações manuais;
- Marcação de alternativas identificadas como incorretas pelo usuário;
- Aprimorar o banco local de dados para criação do menu “Estatísticas”;
- Implementar um tutorial sobre as funções do aplicativo.

Embora a primeira versão estável já tenha permitido satisfazer os requisitos elencados, ainda é necessário realizar testes com os jovens competidores durante seus treinos para a OBI. Neste sentido, pretende-se utilizar o aplicativo com alunos participantes do projeto de extensão, que se preparam para competir na OBI em 2017.

⁶Disponível em: <https://github.com/cassiandrei/logicinalogicway>

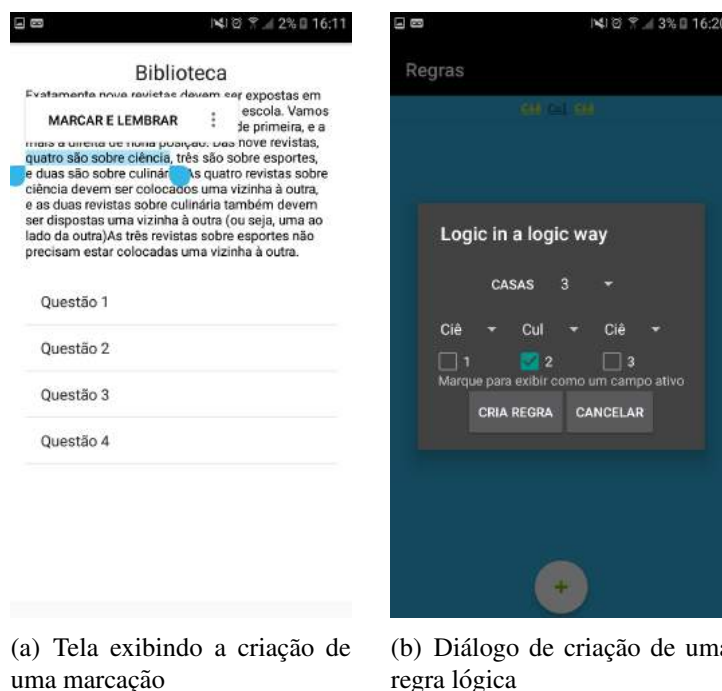


Figura 6. Telas que exibem o uso dos recursos apresentados pela aplicação

Referências

- de Almeida Machado, E. Z., Vasconcelos, I. R., Amorim, K. M., Andrade, A. M. S., Barreto, L. P., e Santos, D. A. (2010). Uma experiência em escolas de ensino médio e fundamental para a descoberta de jovens talentos em computação. In *Anais do Workshop sobre Educação em Computação – (WEI)*, pages 798 – 807. Sociedade Brasileira de Computação.
- de Barros, L. G. e Oeiras, J. Y. Y. (2010). Extensão universitária em computação por meio da olimpíada brasileira de informática. In *Anais do Workshop sobre Educação em Computação – (WEI)*, pages 788 – 797. Sociedade Brasileira de Computação.
- de Barros, L. G., Ribeiro, S. P. S., e Oeiras, J. Y. Y. (2009). Projeto de extensão universitária para apoio e realização da olimpíada brasileira de informática em escolas. In *Anais do Workshop sobre Educação em Computação – (WEI)*, pages 567 – 576. Sociedade Brasileira de Computação.
- Martins, W. S. (2011). *Jogos de Lógica: Divirta-se e prepare-se para a Olimpíada Brasileira de Informática*. Viera.

Um Relato de Experiência da Implantação de um Modelo de Fábrica de Software Escola (FaSEs)

Edmilson Barbalho Campos Neto¹, Alba Sandrya Bezerra Lopes¹ e
Diego Silveira Costa Nascimento¹

¹Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Campus Natal-Zona Norte
Natal - RN - Brasil

{edmilson.campos, alba.lopes, diego.nascimento}@ifrn.edu.br

Abstract. *This paper presents an experience report of implantation of a software factory for education, named FaSEs, for students of technical and graduation course in computer at Instituto Federal do Rio Grande do Norte - Campus Natal Zona Norte. The goal was to create an environment where students could experience the stages of Software Engineering and still solve real demands. The methodology was applied inside classrooms and also in research projects. As results, 74.3 % of students indicate that the learning process increased using the practical methods when compared with a theoretical approach.*

Resumo. *O presente artigo traz um relato de experiência da implantação de uma fábrica de software escola, denominada FaSEs, para os alunos dos cursos técnicos em Informática e Informática para Internet e curso superior em Licenciatura em Informática do Instituto Federal do Rio Grande do Norte - Campus Natal-Zona Norte. O objetivo foi criar um ambiente para que os alunos pudessem vivenciar de forma tangível as fases da Engenharia de Software e ao mesmo tempo atender a demandas reais. A metodologia foi aplicada tanto dentro de sala de aula como em projetos de pesquisa. Como resultado, 74,3% dos alunos indicaram ter absorvido melhor os conteúdos através da experiência de vivência na fábrica, ao comparar com a metodologia tradicional de aulas expositivas.*

1. Introdução

O conceito Fábrica de Software (FS) foi usada pela primeira vez na década de 60, mas popularizada apenas nos anos 90. Segundo [Herbsleb and Grinter 1999], pode ser definido como “um processo estruturado, controlado e melhorado de forma contínua, considerando abordagens de engenharia industrial, orientado para o atendimento a múltiplas demandas de natureza e escopo distintas, visando à geração de produtos de software, conforme os requerimentos documentados dos usuário e/ou clientes, da forma mais produtiva e econômica possível”.

No âmbito acadêmico, a FS é uma proposta inovadora que busca a interação concomitante entre teoria e prática, subsidiando os alunos na aplicação real dos conceitos aprendidos em sala de aula, ao mesmo tempo que prepara mão de obra especializada para atuar no mercado de desenvolvimento de software. O modelo vem sendo seguido em instituições de educação do Brasil e no Mundo. Por exemplo, no

trabalho de [Brito et al. 2013], os autores apresentaram uma proposta de criação de uma metodologia para FS no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – *campus* Inhumas de forma a atender demandas reprimidas de desenvolvimento de software, bem como, proporcionar aos alunos experiências práticas. Já no trabalho de [Oliveira and Colenci 2003], os autores descrevem um relato de experiência da implantação de uma FS acadêmica implantada na Faculdade de Tecnologia de Jundiá em São Paulo que visa estimular a capacitação tecnológica dos alunos e o incentivo a criação de empresas competitivas. No trabalho de [Siqueira et al. 2008], os autores apresentaram uma abordagem metodológica para o ensino de Engenharia de Software (ES) na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, de forma que o ensino não ficasse restrito à sala de aula e o laboratório, mas que os alunos pudessem vivenciar um processo de desenvolvimento de software. Enquanto que no trabalho de [Borges et al. 2012], os autores relatam as experiências alcançadas no projeto de extensão de uma FS desenvolvido no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, que teve por objetivo propiciar aos alunos capacitação nas principais tecnologias de mercado e vivência no mundo do trabalho. E o trabalho de [Ahmad et al. 2014], que os autores fizeram uma avaliação da percepção dos alunos através da utilização de quadro Kanban e aprendizado colaborativo que foi desenvolvido na Universidade de Oulu na Finlândia.

De acordo com as experiências anteriormente citadas no que se refere à aplicação do conceito de FS em âmbito formador, o presente artigo parte da hipótese de que tal abordagem é promissora na formação dos alunos na disciplina de ES permitindo, principalmente, um amadurecimento técnico e profissional.

De forma a comprovar nossa hipótese, foi desenvolvido o projeto de extensão FaSEs, um acrônimo para Fábrica de Software Escola. O projeto tem como objetivo geral possibilitar aos estudantes dos cursos da área de tecnologia e afins do Instituto Federal do Rio Grande do Norte - Campus Natal-Zona Norte, aplicar os conhecimentos de ES trabalhados em sala de aula para criação de soluções reais demandadas pela própria comunidade escolar ou industrial. Com isso, almeja-se possibilitar aos alunos uma vivência de um ambiente mais próximo da realidade de uma organização de desenvolvimento de software, que permite [Herbsleb and Grinter 1999]: capacitar os alunos para a compreensão e resolução de problemas relacionados à produção de software, seguindo processos de desenvolvimento de sistemas; pesquisar e aplicar novas tecnologias e metodologias de desenvolvimento de software; divulgar o potencial dos alunos participantes junto ao mercado de trabalho, com vista a obtenção de colocações dentro das empresas de desenvolvimento de software; dar suporte a projetos da instituição, fornecendo soluções de software personalizadas; e promover outras ações (palestras, cursos de formação complementar, certificação profissional, eventos, entre outros).

Esse artigo está organizado da seguinte forma. A Seção 2 apresenta as metodologias de ensino e desenvolvimento utilizadas pela FaSEs. A Seção 3 apresenta e discute os resultados alcançados e Seção 4 apresenta uma avaliação da metodologia adotada. Por fim, o artigo é concluído na Seção 5, onde são realizadas as considerações finais.

2. Metodologia de Ensino de Engenharia de Software na FaSEs

Segundo [Sommerville 2011], ES é uma disciplina cujo foco está em todos os aspectos da produção de software, desde os estágios iniciais da especificação do sistema até sua

manutenção. Embora não exista um consenso entre autores quanto a terminologia adotada para as fases de desenvolvimento de um projeto de software, neste trabalho adotamos as etapas categorizadas como: levantamento de requisitos, análise, projeto, implementação e implantação.

2.1. Seleção e Acompanhamento de Projetos

A metodologia adotada para o desenvolvimento deste projeto buscou envolver os alunos nos diversos anos de ensino dos cursos técnicos e em Informática e Informática para Internet e do curso superior em Licenciatura em Informática da instituição. Para tanto, a FaSEs foi organizada em dois grupos, aqui chamados de divisões da fábrica. A primeira, a Divisão Acadêmica (DA), abrange os projetos executados diretamente em sala de aula, pelos problemas e alunos envolvidos nas disciplinas integradas, sendo esses, portanto, projetos curriculares. O segundo grupo, intitulado Divisão de Inovação (DI) compreende os projetos executados por editais de pesquisa de fomento interno ou externo da instituição, seja esses por meio de bolsas de pesquisa ou não.



Figura 1. Visão geral dos resultados.

A Figura 1 ilustra uma visão geral da estrutura da FaSEs com alguns números correspondentes ao cenário atual de sua implantação na instituição. Além disso, é possível observar no lado esquerdo da figura, os grupos responsáveis por demandar soluções a serem atendidas por cada uma das divisões da fábrica, a depender da natureza da execução do projeto (acadêmica ou pesquisa). Independente da divisão responsável, todos os projetos da FaSEs atendem necessariamente a soluções que surgem desses grupos de demandantes (*stakeholders*), a seguir descritos:

- Comunidade Acadêmica (interno): Grupo formado pelos alunos, professores e servidores da própria instituição; as soluções demandadas por esse grupo buscam otimizar/corrigir problemas diretamente ligados ao dia a dia da instituição; e
- Indústria e Comércio (externo): Grupo formados por *stakeholders* diretamente ligados a indústria ou comerciantes locais, que demandam soluções específicas para o seu negócio.

Pela necessidade de gerenciar todos os projetos de forma unificada, adotou-se a ferramenta Trello¹ que possibilita criar quadros de tarefas específicos (Kanban Board)

¹<http://www.trello.com>

para cada projeto e associar alunos e professores participantes. Além dessa ferramenta, foi adotado um repositório de código visando melhor versionamento dos sistemas e possibilitando que os projetos possam ser continuados por outras equipes no futuro. No primeiro ano de implantação, os projetos foram disponibilizados no GitHub². No segundo ano, o repositório adotado foi o GitLab³.

2.2. Processo de Desenvolvimento de Software

O processo seguido pela FaSEs baseia-se no OpenUP⁴, um modelo iterativo-incremental dividido em quatro fases: Concepção, Elaboração, Construção e Implantação. Cada fase foi subdividida em iterações, com duração média de 15 dias, e ao final de cada iteração são agendadas entregas para cada equipe apresentar os avanços obtidos. As entregas funcionavam como entregas simuladas de releases parciais da solução aos clientes/demandantes, que em algumas projetos participaram ativamente do processo, com avaliações das entregas. A escolha do processo OpenUP se deu pelo fato dessa metodologia ser capaz de fomentar a prática com profundidade de todas as atividades da ES, desde a análise à implantação, no ambiente acadêmico.

A Tabela 1 apresenta as principais atividades e tarefas gerados pela primeira fase do processo, a Concepção. Extraída do OpenUP, o objetivo dessa fase é identificar e abordar os stakeholders (interessados) do sistema para extrair/entender a relação de requisitos funcionais e não funcionais que o projeto deverá atender, gerando, para tanto, alguns artefatos específicos para este fim.

Tabela 1. Artefatos gerados na fase de Concepção do processo

Atividade	Tarefa	Artefato gerado
Iniciar projeto	Iniciar projeto	- Documento de Visão - Glossário
Planejar e Gerenciar Iteração	Planejar iteração	- Plano de Riscos - Plano de Iteração
Identificar Requisitos	Identificar requisitos Detalhar cenários de UDC Realizar protótipos de telas	- Tabela de RNF - Casos de Uso (CDU) - Protótipos baixa fidelidade
Esboçar arquitetura	Definir arquitetura do sistema	- Documento de arquitetura

A segunda fase do processo OpenUP, adaptada para o processo da FaSEs, tem o nome de Elaboração e seu objetivo é definir como as funcionalidades do sistema, identificadas na fase anterior, serão implementadas na fase de Construção seguinte. Para isso, é necessário identificar quais casos de uso apresentam maior risco para que possam ser implementados nessa fase, com o objetivo de validar a arquitetura projetada para o sistema. Considera-se casos de uso de maior risco (CDUMR) aqueles que, se não implementados/entregues ao clientes, desconfiguram a essência do sistema. A Tabela 2 reporta os artefatos gerados a fase de Elaboração.

As duas últimas fase do processo, a Construção e a Transição, têm como objetivo, respectivamente, implementar todos os casos de uso restantes e previstos para o sistema;

²<http://www.github.com/fases>

³<http://www.gitlab.com>

⁴<http://epf.eclipse.org/wikis/openup/>

Tabela 2. Artefatos gerados na fase de Elaboração do processo

Atividade	Tarefa	Artefato gerado
Gerenciar requisitos	Encontrar e descrever requisitos Detalhamento de requisitos Criar caso de teste	- Especificação de CDUMR - Plano de teste
Definir arquitetura	Desenvolver arquitetura Projetar banco de dados	- Diagrama de classes - Diagrama de pacotes - MER
Desenvolver um incremento da solução	Projetar a solução Implementar a solução Executar testes	- Protótipos alta fidelidade - Release com incremento - Relatórios de testes
Planejar e Gerenciar Iteração	Planejar interação	- Plano da Iteração

e validar e implantar o sistema em ambiente real. Na Construção, os casos de uso especificados nas fases anteriores são em plenitude implementados seguindo a arquitetura validada na fase de Elaboração. Esses casos de uso são validados por meio de testes durante o desenvolvimento e, ao final, transferidos para um ambiente real de produção, para utilização e aprovação por parte dos stakeholders do sistema.

3. Resultados

Esta seção apresenta os resultados obtidos pela FaSEs após dois anos da sua implantação no *campus* da instituição de ensino, de acordo com a natureza da divisão da fábrica (acadêmica ou inovação).

3.1. Experiência de interdisciplinaridade

Os projetos da Divisão Acadêmica (DA) foram executados englobando duas disciplinas da estrutura curricular do quarto ano do curso técnico integrado em Informática: Programação para Internet (PPI) e Projeto de Desenvolvimento de Software (PDS). O projeto pedagógico do curso considera que as duas disciplinas possam desenvolver projeto integrador, de forma a possibilitar melhor consolidação dos conteúdos e objetivos das disciplinas. A ementa da disciplina de PDS busca proporcionar ao aluno a compreensão do processo de desenvolvimento de software, as atividades técnicas e as iterações envolvidas neste processo. Já a disciplina de PPI propõe que os alunos possam desenvolver aplicações com programação do lado do cliente e do servidor e controlar o estado e o acesso em aplicações na internet.

Em 2015, buscando atingir esses objetivos, os professores dividiram a turma composta por 27 alunos em seis equipes e discutiram as demandas de sistemas existentes na fábrica. Das seis demandas apresentadas na turma, três eram da comunidade acadêmica e três da indústria e comércio. Cada equipe ficou responsável por uma demanda específica. Além disso, no que concerne a execução das atividades e da interdisciplinaridade, a disciplina de PDS foi a responsável por conduzir o processo de desenvolvimento, agregando as fases do processo e as atividades específicas de implementação trabalhadas com alunos pelo professor da disciplina de PPI. Em 2016, igual divisão foi realizada com uma nova turma formada por 31 alunos concluintes.

3.2. Experiência entre cursos de níveis distintos

Além da integração das disciplinas intracurso ocorrida no nível técnico em 2015, no segundo ano da vivência da FaSES da Divisão Acadêmica, em 2016, foi viabilizada a

integração de disciplina de cursos diferentes e de níveis distintos. A experiência contou com a integração da disciplina de Engenharia de Software (ES) ofertada a uma turma de curso superior em licenciatura plena em informática com as duas disciplinas de PPI e PDS do curso técnico já integradas no ano anterior. Nessa nova formatação, os alunos de nível superior em licenciatura atuavam como mentores dos projetos, acompanhando a vivência do projeto e dando suporte pedagógico necessário ao entedimento dos conceitos envolvidos na execução de um processo de desenvolvimento de software, enquanto os alunos do curso técnico atuavam na implementação e geração dos artefatos previstos no processo.

3.3. Projeto da Divisão Acadêmica (DA)

A Tabela 3 apresenta a distribuição dos projetos. Para cada projeto é indicado o ano de início, o tipo do projeto, o objeto/área de concentração, a origem da demanda (comunidade acadêmica - CA ou indústria e comércio - IC) e a quantidade de alunos envolvidos em cada equipe. Além disso, a tabela também apresenta a quantidade de trabalhos que foram utilizados como trabalho de conclusão de curso pelos alunos do quarto ano, concluintes do curso técnico em Informática. A seguir, são apresentados dois projetos de naturezas distintas para exemplificar a diferença entre os tipos de demandantes da FaSEs na Divisão Acadêmica. Mais informações sobre os projetos desenvolvidos podem ser obtidas através do site do projeto⁵.

Tabela 3. Sumário dos resultados da Divisão Acadêmica da FaSEs

Projeto	Ano	Tipo de projeto	Objeto	Demandante	#alunos	#TCC ¹
Brainzer	2015	Jogo educativo	Saúde	IC ²	5	3
Comunica	2015	SI ³	Comunicação	CA ⁴	5	1
Emprenet	2015	Serviço online	Domésticas	IC	3	–
Filmões	2015	Serviço online	Filmes	IC	4	–
SUSI	2015	SI	Saúde	CA	5	–
WorldShare	2015	Rede social	Acadêmico	CA	5	–
ACHA	2016	SI	Carga horária	IC	5	3
COLINFO	2016	Serviço online	Publicações	CA	5	3
BinChallenger	2016	Jogo educativo	Binários	IC	5	3
FaSEs Web	2016	SI	FaSEs	IC	5	1
MudiFast	2016	SI	Resoluções	CA	1	3
SIGMIN	2016	SI	Minicursos	CA	6	6

(1) TCC - Trabalho de Conclusão de Curso; (2) IC - Indústria e Comércio; (3) SI - Sistema de Informação; (4) CA - Comunidade Acadêmica

O projeto **Brainzer** (IC) teve como objetivo o desenvolvimento de um portal de jogos online para auxiliar portadores da doença Alzheimer no estímulo de sua cognição. No processo de desenvolvimento, a equipe realizou entrevistas com médico especialista, membros de associações de auxílio a familiares e portadores da doenças. Os jogos basearam-se em atividades endossadas por especialistas nesse tipo de doença neurodegenerativa, como jogos da memória, caça-palavras e diversos questionários intuitivos.

O projeto **Worldshare** (CA), por sua vez, foi desenvolvido para atender uma demanda institucional externada pelos docentes. A demanda foi por uma ferramenta onde os alunos pudessem compartilhar suas produções acadêmicas e culturais, tais como poesias, crônicas, além de resumos e artigos técnicos de disciplinas curriculares. Antes

⁵<http://fases.ifrn.edu.br/>

da publicação do conteúdo, a produção passa pela revisão de um professor da área, que aponta trechos carentes de melhorias que são corrigidos pelo aluno.

3.3.1. Utilização dos projetos como prática profissional

Além da utilização dos projetos para a consolidação dos conteúdos das disciplinas de PDS e PPI, os alunos do curso técnico participantes dos projetos da Divisão Acadêmica ainda puderam aproveitar a vivência extra-curricular possibilitada pelos projetos desenvolvidos para integralização da carga horária de prática profissional prevista no projeto pedagógico do curso técnico na instituição, pré-requisito para conclusão de curso, contribuindo assim para melhoria dos índices de êxito do curso.

Para avaliar esse impacto fomentado pela Divisão Acadêmica nos índices de conclusão, foram comparados os índices acadêmicos do ano letivo de 2015 e 2016 (após dois anos de implantação da FaSEs) com os de 2014 (ano anterior). A análise focou na avaliação da Taxa de conclusão (TC) de curso em cada ano letivo, que considera apenas os alunos que integralizaram todos os componentes curriculares, incluindo a prática profissional, no ano letivo analisado. A Tabela 4 apresenta um sumário dessa análise comparativa.

Tabela 4. Resultado da análise comparativa

Ano letivo	#turmas	#alunos	#TC ¹	#TC (FaSEs)
2014	2	49	4%(2)	–
2015	1	27	79% (23)	24% (7)
2016	1	31	100% (31)	61% (19)

(1) Taxa de conclusão

Após essa análise, foi possível observar um avanço significativo na Taxa de Conclusão entre os anos de 2014 e 2015, que aumentou de 4% (apenas dois alunos em 2014) para 79% em 2015 (23 alunos) e, em 2016, atingiu 100% de conclusão. Dos 23 alunos que concluíram suas práticas profissionais em 2015, sete utilizaram projetos desenvolvidos pela FaSEs, o que implica uma Taxa de Conclusão relacionada a FaSEs de 24%. Esse número teve um crescimento ainda mais expressivo no segundo ano do projeto, atingindo 61%, o que equivale a 19 alunos.

3.4. Projetos da Divisão de Inovação (DI)

Os projetos desenvolvidos nessa divisão atuam numa outra frente de resultados, responsável por impulsionar a produção científica da FaSEs. Os projetos, diferente dos da divisão acadêmica, que são desenvolvidos em sala de aula, são fomentados por editais de pesquisa internos ou externos e todos com potencial de inovação. Nesse sentido, os resultados desses projetos podem ser mensurados nos números de publicações científicas e acadêmicas culminadas por cada um deles. A Tabela 5 a seguir apresenta um sumário desses resultados por projeto nesse biênio de implantação da metodologia proposta pela FaSEs, além de informações complementares sobre a origem de algumas das demandas de cada projeto e quantidade de alunos envolvidos por equipe.

O projeto **Epuppy** foi o projeto pioneiro da FaSEs e surgiu de uma demanda proveniente de uma clínica veterinária local, que externou, a partir da vivência diária, a

Tabela 5. Sumário dos resultados da Divisão de Inovação

Projeto	Demandante	#alunos	#feiras	#publicações	#premiações	#TCC ¹
EPuppy	IC ²	5	1	1	0	3
Luzômetro	CA ³	3	0	1	0	0
SmartGás	IC	2	3	2	2	0
TED Saúde	IC	2	5	1	4	2
FreeAccess	IC	3	0	1	1	0
PocketChef	IC	2	0	1	0	0

(1) TCC - Trabalho de Conclusão de Curso; (2) IC - Indústria e Comércio; (3) CA - Comunidade Acadêmica

necessidade de reunir em uma única rede as informações acerca dos animais domésticos e todos os envolvidos no cuidado desses animais, possibilitando a identificação do animal através de um QR-Code, que pode ser acoplado à coleira do animal.

O projeto **SmartGás** (Figura 2) surgiu de um potencial de inovação da indústria e comércio de gás de cozinha doméstico. O projeto propõe o desenvolvimento e plataforma inteligente para o controle do consumo do gás. A plataforma fornece informações em tempo real da quantidade de gás restante no botijão, além de dados essenciais para controle da economia doméstica [Medeiros et al. 2016]. O projeto, com publicações nacionais e internacionais, é financiado por edital interno e conta com dois alunos do terceiro ano do curso técnico em informática para internet.

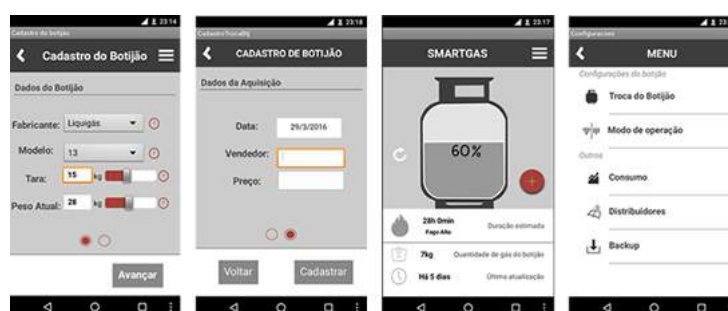


Figura 2. Protótipo do aplicativo desenvolvido no projeto SmartGás.

Outro projeto em destaque da FaSEs, o **TEDSáude**, propõe o desenvolvimento de uma plataforma educativa digital, e também visa atender um potencial de inovação do setor de saúde [Silva et al. 2016]. No projeto é desenvolvida uma plataforma interativa utilizando o dispositivo Kinect, a ser implantado nas salas de espera das unidades básicas de saúde, para a promoção da saúde. Os resultados do projeto foram disseminados por meio da publicação em eventos científicos e feiras tecnológicas, algumas das quais renderam premiações e credenciamentos para participação em outras feiras nacionais e internacionais.

4. Avaliação dos Resultados

Com o objetivo de avaliar a metodologia-modelo implantada pela FaSEs na Divisão Acadêmica, foi aplicada um questionário ao final da execução do segundo ano do projeto, que tinha como eixos principais: (i) Avaliar a compreensão/absorção dos conteúdos de engenharia de software; e (ii) Avaliar a perceptividade da metodologia adotada. A aplicação

contou com 35 respondentes anônimos, entre alunos do curso técnico e do curso superior em licenciatura em informática, que participaram de projetos da Divisão Acadêmica durante o ano letivo de 2016.

Na primeira parte do questionários (primeiro eixo), os alunos foram perguntados sobre: (i) a nomenclatura e ordem das fases do processo adotado; e (ii) os objetivos de cada uma das fases. O objetivo era identificar se a adoção de um metodologia prática para ensino de engenharia de software foi eficiente para absorção dos conhecimentos teóricos da disciplina. O índice de acerto dos respondentes sobre a primeira fase (Concepção) foi de 100% e de 94,3% para a segunda fase (Elaboração). Já em relação das duas últimas fases, os índices de acertos foram um pouco menores. Sobre a fase de Construção, 74,3% acertaram o seu objetivo, enquanto 77,1% responderam corretamente sobre o objetivo da fase de Transição.

Na segunda parte do questionário (segundo eixo), os alunos foram questionados sobre a experiência da vivência de um processo de engenharia de software na prática. 74,3% (ou seja, 26 alunos), disseram acreditar que a vivência de um processo de engenharia de software na prática possibilita alta contribuição dos conceitos teóricos da disciplina, enquanto 14,3% (5), responderam moderada contribuição. Apenas 4 respondentes disseram acreditar que aprenderiam mais com aulas expositivas do que uma vivência prática. A resposta dessa questão pode ser vista na Figura 3.a.

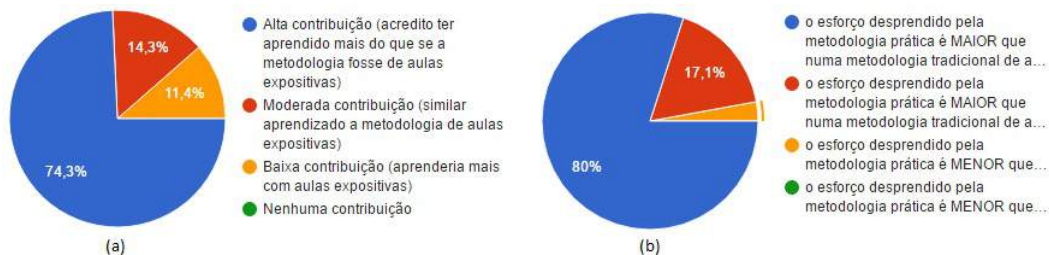


Figura 3. Nível de satisfação dos alunos com o estágio final dos seus projetos

Também foi questionado a opinião dos alunos sobre a relação entre o esforço despendido e o aprendizado obtido na adoção de uma metodologia prática em relação a metodologias tradicionais de aulas expositivas-teóricas (Figura 3.b). Para 80% (28) dos respondentes, o esforço de uma metodologia prática é maior, mas em compensação o aprendizado obtido também é maior, enquanto apenas 17,1% (6) acreditam ser maior o esforço e menor o aprendizado. Um único respondente afirmou ainda acreditar que um metodologia prática, além de possibilitar maior aprendizado, ainda requer um menor esforço que metodologias expositivas.

Sobre a satisfação geral com a metodologia prática adotada na disciplina de PDS e PPI, 68,5% (24) responderam excelente ou boa, enquanto 25,7% (9) indicaram como regular, apontando como necessidade de melhoria maior tempo de acompanhamento dos projetos em sala de aula, uma limitação da carga horária das disciplinas envolvidas. Por fim, foi solicitado que os alunos indicassem o nível de satisfação com o estágio final dos seus respectivos projetos, numa escala de 1 a 5, e mais de 80% responderam entre 4 e 5.

Além desses resultados, é possível avaliar o impacto da Divisão de Inovação pelo número de publicações (5), premiações (4) e projetos (4) já apresentados na Seção 4.2.

Nos próximos anos será possível comparar também esses números para essa divisão de modo a observar a evolução desses indicadores em face aos demais projetos da instituição.

5. Considerações Finais

Este trabalho apresentou um relato de experiência da implantação de uma Fábrica de Software Escola, denominada FaSEs, em uma instituição de ensino. A execução do projeto culminou no desenvolvimento bem sucedido de 18 projetos de software no ambiente acadêmico. Nesse período, os alunos puderam vivenciar as etapas de concepção, elaboração, construção e implantação inerentes a um processo de desenvolvimento de software. Como consequência, a implantação da fábrica contribuiu para a maturidade dos alunos no processo de desenvolvimento de sistemas. Ao serem questionados, 80% alunos consideraram que, apesar do esforço despendido na condução da disciplina de maneira prática ser maior, o aprendizado é também maior. E 80% dos alunos consideraram como satisfatório o estágio final dos seus projetos. Como trabalhos futuros, pretende-se incluir as etapas de testes e manutenção na metodologia de ensino para que alunos possam vivenciar também o processo de continuidade de um sistema já em desenvolvimento.

Referências

- Ahmad, M. O., Liukkunen, K., and Markkula, J. (2014). Student perceptions and attitudes towards the software factory as a learning environment. In *IEEE Global Engineering Education Conference*, pages 422–428.
- Borges, K. S., de Carvalho, T. P., and de Moraes, M. A. C. (2012). Programa de extensão “fábrica de software acadêmica”: contribuindo para a formação profissional na área da informática. *Workshop sobre Educação em Computação*.
- Brito, M. C. A., Silva, F. P., and Cabral, E. P. (2013). Elaboração de uma metodologia de desenvolvimento de software para a fábrica de software de uma instituição de ensino. *Revista Brasileira de Informática na Educação*, 21(2):52–61.
- Herbsleb, J. D. and Grinter, R. E. (1999). Splitting the organization and integrating the code: Conway’s law revisited. In *International Conference on Software Engineering*, pages 85–95.
- Medeiros, G. V. S., Santos, M. R., Lopes, A. S. B., and Campos Neto, E. B. (2016). Smartgás: uma plataforma inteligente para monitoramento do consumo de gás de cozinha. In *VIII Computer on the Beach*, Florianópolis, SC.
- Oliveira, D. H. and Colenci Neto, A. (2003). Fábrica de software: Promovendo a criação de empresas competitivas em tecnologia da informação. *XXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção*.
- Silva, F. M., Lopes, A. S. B., and Campos Neto, E. B. (2016). Uma aplicação de terminais interativos de interface natural em ambientes inteligentes. In *XV Simpósio Brasileiro sobre Fatores Humanos em Sistemas Computacionais (IHC)*, São Paulo, SP.
- Siqueira, F. L., Barbarán, G. M. C., and Becerra, J. L. R. (2008). A software factory for education in software engineering. In *IEEE 21st Conference on Software Engineering Education and Training, 2008*, pages 215–222.
- Sommerville, I. (2011). *Engenharia de Software*. Pearson, 9 edition.

Uma experiência de aplicação de uma abordagem baseada em problemas no ensino de Teoria da Computação em sala de aula tradicional

Luiz Otávio Ramos Gavaza¹, Laís do Nascimento Salvador¹,
David Moises Barreto dos Santos²

¹Departamento de Ciência da Computação – Universidade Federal da Bahia (UFBA)
Av. Adhemar de Barros, S/N, Ondina – 40.170-110 – Salvador – BA – Brasil

²Departamento de Ciências Exatas – Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS)
Av. Transnordestina, Novo Horizonte – 44.036-900 – Feira de Santana – BA – Brasil

{lgavaza,laisns}@ufba.br, davidmbs@uefs.br

Abstract. *There are several challenges for educators to conduct disciplines in a satisfactory manner with regard to students motivation and absorption of knowledge. In Computer Science courses, Computer Theory disciplines are an additional challenge, because they deal with topics with a high level of abstraction. This paper presents a report on the experience of applying the Problem Based Learning (PBL) approach for teaching Computer Theory disciplines. The experience was conducted in a traditional classroom using a basic infrastructure. The results of this experiment show that the students have the performance of good perceptions about an applied approach, which confirms the potential for the application of PBL in the teaching of Computer Theory.*

Resumo. *Diversos são os desafios dos educadores para conduzir disciplinas de forma satisfatória no que diz respeito à motivação e absorção de conhecimento pelos estudantes. Nos cursos de Computação, as disciplinas de Teoria da Computação constituem um desafio adicional, por tratarem de tópicos com alto nível de abstração. Este trabalho relata a experiência de aplicação de uma abordagem de aprendizado baseado em problemas (PBL) para o ensino da disciplina de Teoria da Computação utilizando uma infraestrutura básica. Os resultados dessa experiência mostram que os estudantes participantes tiveram boas percepções sobre a abordagem aplicada, o que confirma o potencial para aplicação de PBL no ensino de Teoria da Computação.*

1. Introdução

Os educadores em Ciência da Computação enfrentam muitas questões no que diz respeito a como conduzir uma disciplina de forma que os estudantes estejam motivados e possam obter satisfatoriamente conhecimentos desejáveis para a sua formação. Isto não é um caso particular do ensino de Computação, mas é necessário considerar que se trata de um conhecimento relativamente novo, e que só muito recentemente está presente em instituições de ensino universitário. É necessário realizar tal consideração para argumentar os motivos pelos quais ainda não existem metodologias e procedimentos suficientemente testados. Além disto, há a natureza intrinsecamente multidisciplinar e o desenvolvimento contínuo

da área de Computação. Embora seja possível perceber um contínuo desenvolvimento também em outras áreas do conhecimento, em Computação é notória a robustez e continuidade do progresso produzido nas últimas décadas.

O ensino de Computação em geral segue a abordagem tradicional, com educadores atuando como transmissores de conhecimento, enquanto estudantes são receptores. Ao verificar as grades curriculares dos cursos de Computação, serão encontradas algumas atividades práticas em laboratórios, sobretudo para o ensino de disciplinas com tópicos de programação e algumas atividades práticas como complemento à carga horária teórica, constituída essencialmente na exposição de conhecimento pelo educador aos estudantes. A forma de ensinar Computação pode ser determinante para o sucesso também no que diz respeito a inclusão do estudantes, esse é um motivo a mais de estímulo para que os educadores pesquisem sobre essa questão.

Na Universidade Federal da Bahia (UFBA), na grade do curso de Sistema de Informação, tem-se a disciplina introdutória de Teoria da Computação, que possui uma carga teórica extensa, que além dos tópicos de Linguagens Formais e Teoria da Computação, também inclui tópicos de Complexidade e de Compiladores. Nessa disciplina, os tópicos tratados possuem um alto nível de abstração e exigem bastante esforço por parte dos estudantes para que possam acompanhar o seu andamento. As disciplinas de Teoria da Computação normalmente possuem um alto índice de reprovação e evasão. Muitas são as dificuldades para que os estudantes se sintam estimulados e consigam uma absorção satisfatória dos conceitos.

Esse trabalho relata a experiência de ensino dessa disciplina de Computação com uma abordagem de *aprendizado baseado em problemas*, que será referenciada nesse texto pela sigla PBL¹. A metodologia PBL pode ser definida como uma abordagem educacional construtivista em que o foco de aprendizagem está nos estudantes, que são capacitados para que assumam a responsabilidade pela aprendizagem [Dolmans et al. 2005]. Na metodologia PBL o problema é uma ferramenta que fornece aos estudantes motivações para que eles alcancem os objetivos de aprendizagem [Wood 2003, O'Grady 2012]. A metodologia PBL não se resume à resolução de problema em si, mas usá-lo como ferramenta para estimular o estudante e favorecer a compreensão dos conceitos [Wood 2003].

Além desta seção introdutória, este trabalho está organizado da seguinte forma: a Seção 2 para descrever a experiência; a Seção 3 para apresentar os trabalhos correlatos; a Seção 4 para trazer uma discussão sobre alguns dos resultados obtidos com a experiência; por fim, a Seção 5 para trazer algumas das argumentações sobre consequências dos resultados exibidos na Seção anterior, as expectativas e as possibilidades de trabalhos na investigação proposta.

2. Descrição da experiência

Aprendizagem baseada em problemas é utilizada em muitas escolas de medicina, onde já existe alguma consolidação da abordagem como efetiva para educação médica, enquanto em outras áreas do conhecimento há tentativas de explorar as suas potencialidades. No ensino de Computação, a aplicação de PBL ainda é restrita, e geralmente acontece por iniciativa própria de alguns educadores, quase sempre isoladamente tentando melhorar a absorção do conteúdo de uma disciplina pelos estudantes [Wood 2003, O'Grady 2012].

¹ Acrônimo para a denominação mais difundida: Problem Based Learning.

A utilização da metodologia PBL não apenas permite desenvolvimento técnico dos participantes, mas também os capacita em outros atributos, como comunicação, trabalho em equipe, resolução de problemas, autodidatismo, compartilhamento de conhecimento e informações, argumentação e respeito às divergências [Wood 2003].

A experiência de aplicação desta abordagem se deu em uma disciplina na Universidade Federal da Bahia que apresenta os conceitos introdutórios de Teoria da Computação para estudantes de graduação. A carga horária de 68 horas da disciplina no semestre foi dividida em: 26 horas de sessões tutoriais de PBL; 32 horas de aulas para apresentação de conteúdo pelo educador utilizando a abordagem tradicional; e 10 horas para aplicação de avaliações tradicionais.

Uma sessão tutorial é um período de tempo disponibilizado para que os estudantes discutam presencialmente sobre um problema e cada sessão tutorial tem duração de 2 horas. Uma sessão tutorial pode ser conduzida de várias formas, sendo que uma sessão típica é composta por um pequeno grupo de estudantes e um tutor para facilitar o andamento da sessão.

Os participantes dessa experiência foram todos os vinte e cinco estudantes regularmente inscritos na disciplina. A experiência aconteceu em uma sala de aula tradicional equipada com um quadro branco. Os estudantes foram distribuídos em semicírculo para que todos fossem capazes de ver o que era escrito no quadro e facilitar a interação entre eles.

O primeiro passo a cada sessão é a escolha dentre os estudantes de três voluntários. Um voluntário é responsável por realizar o registro da discussão da sessão no quadro branco, esse participante é denominado *relator de quadro*. Um segundo voluntário é responsável por realizar o registro das discussões e disponibilizar um documento consolidado para todos os participantes logo após a sessão, sendo denominado *relator de mesa*. A discussão é conduzida por um terceiro voluntário, denominado *coordenador da sessão*, que administra as intervenções dos participantes, permitindo que esses tenham espaço para se posicionar. Há um rodízio de papéis a cada sessão para que todos os estudantes tenham oportunidade de desempenhar todos os papéis descritos acima.

O tutor, por sua vez, é o principal responsável por facilitar andamento da sessão, zelando pelos objetivos de aprendizagem. Sendo um agente passivo da sessão, as suas intervenções são mínimas, para evitar podar a criatividade dos estudantes. As intervenções do tutor ocorrem apenas em casos extremos de distanciamento dos objetivos de aprendizagem. Em particular, na etapa final do problema podem ser necessárias intervenções mais diretas e efetivas pelo tutor para garantir que os objetivos de aprendizagem sejam atingidos.

A sessão é iniciada com a apresentação do problema, onde o tutor entrega uma cópia do texto e demais materiais de apoio do problema aos estudantes. A condução da sessão passa para o coordenador da sessão, onde a primeira ação do coordenador é realizar a leitura do texto em voz alta. Os participantes então se inscrevem junto ao coordenador da sessão para que possam expor as suas primeiras impressões sobre o problema. A sessão segue com argumentações, exposição de ideias, questionamentos e levantamento de fatos. No encerramento da sessão os participantes devem discutir metas e traçar um cronograma de trabalho para o problema. O tutor observa o desempenho dos estudantes

na discussão e os objetivos de aprendizagem para avaliar se as metas são plausíveis e exequíveis dentro do prazo, então, caso seja necessário, são negociadas adequações nas metas e no cronograma de trabalho com os estudantes. As próximas sessões seguem o cronograma e as metas estabelecidas.

Os estudantes devem individualmente entregar uma proposta de solução para o problema, chamado de *produto*, até o prazo determinado no texto do problema. Alguns dos problemas foram concebidos para construção do produto em equipe, para esses problemas os estudantes se reúnem além das sessões tutoriais para conceber o produto.

Além do espaço físico da sala de aula, os estudantes também são incentivados a utilizar um ambiente de aprendizagem virtual para dar continuidade à discussão do problema e como repositório para armazenar os produtos da disciplina. Está disponível no ambiente virtual um espaço para cada um dos problemas. No caso de problemas em que a construção do produto seja em equipe também é disponibilizado um espaço exclusivo para cada equipe. As opiniões dos participantes sobre suas percepções são recebidas em formulários no ambiente virtual. Os participantes são convidados a expor suas percepções sobre cada um dos problemas e sua percepção geral sobre a condução da disciplina com a utilização abordagem.

No formulário de percepções do problema os estudantes são convidados a responder 32 questões. As cinco primeiras questões são de caracterização de perfil, como idade e sexo. As próximas vinte e cinco questões são sobre as percepções dos participantes sobre a abordagem, o problema, o tutor e uma auto avaliação. Estas perguntas apresentam uma afirmação, contendo um tema ao qual se deseja avaliar a percepção, e uma escala de concordância com “discordo plenamente”, “discordo” e “indiferente”, considerados desfavoráveis, e “concordo” e “concordo plenamente”, considerados favoráveis. As duas últimas questões são espaços abertos para que o participante inclua considerações adicionais, respectivamente, as suas percepções sobre o problema e sobre a abordagem.

Para obter as percepções gerais, os estudantes são divididos em dois grupos: no primeiro grupo são incluídos os estudantes que por algum motivo desistiram da disciplina antes da conclusão, esses são chamados de *desistentes*, e no segundo grupo, estudantes que concluíram a disciplina, os *concluintes*. Em ambos os grupos os estudantes são convidados a responder um formulário com 24 questões sobre a abordagem. Para o grupo dos desistentes se deseja obter respostas quanto aos motivos da desistência. Para o grupo dos concluintes o foco está nos benefícios identificados com a aplicação da abordagem. As cinco primeiras questões são de caracterização de perfil. As próximas dezessete apresentam uma afirmação e uma escala de concordância a exemplo do formulário sobre um problema. As últimas duas questões são espaço aberto para que os participantes descrevam suas percepções, respectivamente, sobre a abordagem e sobre a disciplina.

Para a experiência aplicada no primeiro semestre de 2016 foram propostos seis problemas²:

- Problema 1 - Coleção de músicas – O problema menciona um colecionador musical que deseja que novas músicas sejam criadas utilizando como base as músicas

²**Agradecimentos:** Gostaríamos de agradecer ao professor Martin Musicante do DIMAP da Universidade Federal do Rio Grande do Norte pelo desenvolvimento e compartilhamento dos enunciados para a confecção dos Problemas 1 e 2.

de uma biblioteca fornecida. O objetivo desse problema é trabalhar os conceitos de Linguagens Formais por meio de uma equivalência dos conceitos de notas musicais com os conceitos de símbolos e cadeias.

Disponível em <https://goo.gl/JgMKSp>

- Problema 2 - A máquina de vender refrigerantes – O problema menciona uma empresa que deseja construir uma máquina de vender refrigerantes. O objetivo desse problema é trabalhar os conceitos de Autômatos Finitos e introduzir o conceito de não determinismo.

Disponível em <https://goo.gl/zLd8ia>

- Problema 3 - O controle de tráfego – O problema menciona a situação de buracos em uma estrada e solicita aos estudantes que realizem o balanceamento da proporção entre veículos leves e pesados. O objetivo desse problema é trabalhar os conceitos de Autômatos Finitos com Pilha.

Disponível em <https://goo.gl/FBcT2f>

- Problema 4 - O controle de tráfego – O problema é uma extensão do Problema 3. O objetivo é trabalhar os conceitos de Máquinas de Turing.

Disponível em <https://goo.gl/8lFHJC>

- Problema 5 - Uma função bastante curiosa – O problema relata sobre a capacidade dos compiladores em identificar erros e otimizar códigos e convida os estudantes a discutirem o quanto um compilador pode ser inteligente. O objetivo é trabalhar o Problema da Parada.

Disponível em <https://goo.gl/4lAspw>

- Problema 6 - *P versus NP* ($P = NP?$) – O problema apresenta uma discussão sobre as questões de classes de problema *P versus NP*. O objetivo é trabalhar as questões de complexidade.

Disponível em <https://goo.gl/X6GYkv>

Na condução da disciplina, o Problema 6 foi proposto nos moldes dos anteriores, onde foi realizada uma discussão, em uma sessão tutorial única, sobre o Problema *P versus NP*, mas não foi aplicada a abordagem PBL por completo, pois os estudantes tinham por objetivo na sessão responder uma lista de questões propostas pelo educador. Para critérios de avaliações de resultados na Seção 4 este problema não será considerado nas médias com os outros cinco problemas. O conteúdo referente a Compiladores e Gramáticas foi tratado na disciplina por meio de seminários, onde os estudantes foram separados em duplas para apresentar sobre os tópicos. Para efeitos de resultados nesse trabalho não foi realizado nenhum estudo específico com os estudantes referente aos seminários.

A avaliação de desempenho dos estudantes é progressiva. Em cada sessão o estudante é avaliado pelos critérios assiduidade e participação. São consideradas as intervenções e contribuições que o estudante traz para a sessão como participação. Esses critérios compõem, junto com a avaliação do produto, a nota do estudante para o problema. A nota final do estudante é composta pelas notas obtidas nos problemas e nas avaliações tradicionais. É interessante observar que o desempenho dos estudantes nos critérios participação e qualidade do produto se tornaram melhores à medida que eles começaram a aprender a dinâmica da abordagem.

3. Trabalhos correlatos

Alguns educadores têm realizado tentativas de outras formas de abordagem, com o objetivo de transmitir de maneira mais eficaz o conhecimento e motivar os estudantes em disciplinas de Computação, e têm relatado suas experiências, assim como é realizado neste trabalho.

Para o ensino da disciplina IHC³ é apresentada uma metodologia com o objetivo de permitir aos estudantes conhecerem conceitos teóricos e técnicas sobre o desenvolvimento de interfaces a partir de uma experiência prática de construção e avaliação de projeto. Na experiência os estudantes são agrupados para construir e avaliar um projeto para a disciplina. Embora não esteja explicitado em números, está destacado que nas primeiras fases do projeto a motivação dos estudantes é baixa, mas que é crescente à medida que cresce o envolvimento com o projeto [Pelissoni and Carvalho 2003].

[Pelissoni and Carvalho 2003] mostrou um bom resultado para uma disciplina em que há um grande volume de conteúdo, um dos motivadores desse trabalho, entretanto, é necessário considerar que no caso de conceitos de Teoria da Computação o nível de abstração exigido dos estudantes é mais elevado, assim, a opção de conduzir a disciplina com apenas um projeto em todo o curso exige considerar as influências que podem ocorrer na motivação dos estudantes. Além disso, também é necessário considerar a dificuldade para que o educador construa um único projeto capaz de abordar todos os conceitos de Teoria da Computação.

Os aspectos lúdico e interativo dos jogos educacionais pode ser uma boa alternativa para auxiliar na aprendizagem e motivação dos estudantes [Silva et al. 2010]. Para o ensino de Teoria de Computação alguns trabalhos mostraram a utilização dessas ferramentas em alguma abordagem.

O trabalho [de Moraes et al. 2011] tem como proposta a criação de um jogo educacional para motivação dos estudantes na aprendizagem dos conteúdos de Teoria da Computação. A ideia é um aplicativo móvel para que o estudante tenha disponibilidade de trabalhar os conceitos de forma tangencial a qualquer momento. O jogo proposto parece uma lista de exercícios e a única história descrita pode não ser suficiente para motivar o estudante.

Em [Leite et al. 2014] também é proposto um jogo educacional com um ambiente para correção automática de exercícios de Teoria da Computação. A ferramenta proposta é uma espécie de tutor virtual que foi positivamente avaliada pelos estudantes participantes, mas apresenta uma solução que contempla apenas os conteúdos de linguagens regulares e livres de contexto.

Ajudar os estudantes a compreender os conceitos de Teoria da Computação com a utilização de ferramentas também é uma abordagem utilizada. No trabalho [Vieira et al. 2003] foi criada uma ferramenta denominada de *Language Emulator* para que os estudantes possam manipular expressões regulares, gramáticas regulares e autômatos finitos. Um dos argumentos deste trabalho é que uma resposta mais imediata aos exercícios é um estímulo positivo para aprendizagem do estudante. Os educadores também podem utilizar a ferramenta para comparar as respostas fornecidas pelos estu-

³Interação Homem-Computador (IHC) é uma disciplina que está presente em alguns currículos de Computação com carga horária própria ou compondo a carga horária de Engenharia de Software.

dantes para ter mais eficácia e agilidade nas correções, se comparado com uma correção totalmente manual. A ferramenta obteve 95% de aprovação pelos estudantes participantes do experimento. Apesar do excelente resultado descrito, apenas alguns dos conceitos de Teoria da Computação estão contemplados pela ferramenta.

O curso de Engenharia da Computação na Universidade Estadual de Feira de Santana utiliza uma abordagem com PBL desde a criação do curso em 2003. O curso possui dez módulos curriculares em que são aplicados a metodologia PBL, entre eles podem ser citados *Estruturas de Dados* e *Engenharia de Software*. Apesar de consolidado o método PBL na Universidade Estadual de Feira de Santana, não há aplicação da metodologia PBL para a disciplina de Teoria da Computação. Também é necessário considerar que a metodologia PBL é aplicada institucionalmente, assim, já existe uma infraestrutura específica para realização das sessões tutoriais [dos Santos, David Moises Barreto and Burnham, Teresinha Fróes 2003].

O trabalho [Hamalainen 2004] realiza uma comparação entre aplicação de uma abordagem tradicional e uma abordagem baseada em problemas para uma disciplina de Teoria da Computação, obtendo resultados expressivos em favor da abordagem baseada em problemas, sobretudo no que diz respeito aos índices de aprovação e evasão. Entretanto, não está explícita a infraestrutura utilizada e, além disto, os autores enfatizam a necessidade de que a abordagem seja aplicada em outros contextos.

A abordagem proposta neste trabalho utilizou uma infraestrutura em sala de aula tradicional, esse é um dos seus principais diferenciais. Além disso, os artefatos produzidos neste trabalho também podem ser consolidados para que sejam utilizados em universidades como a Estadual de Feira de Santana onde já há uma infraestrutura para o PBL, mas que ainda não há módulos PBL para Teoria da Computação no curso de Engenharia de Computação.

4. Resultados

Todos os alunos regularmente matriculados na disciplina participaram da abordagem, mas para as pesquisas de opiniões ou interpelações sobre a abordagem foi considerado o caráter de convite. Além disso, aos estudantes não foram atribuídas quaisquer vantagens pela participação nas pesquisas.

Os participantes⁴ deste experimento são na maioria do sexo masculino, nove em cada dez, possuem em média 27 anos, o mais velho possui 51 anos e o mais novo possui 20 anos. A maioria dos participantes nunca desistiu da disciplina em outra oportunidade, neste número estão incluídos também aqueles que estão cursando pela primeira vez, este percentual é de 64,3%. Por outro lado, falando em outras disciplinas 71,4% dos participantes já desistiram em outra oportunidade.

Um dos principais problemas enfrentados pelos educadores de disciplinas com carga teórica e matemática como Teoria da Computação é a motivação dos estudantes. Nessa experiência, na avaliação mais favorável, a percepção para 92,8% dos participantes é de que se sentiram motivados e que conseguiram atingir os objetivos de aprendizagem. Na avaliação menos favorável, a avaliação ficou em 71,4% na percepção de motivação

⁴A partir deste ponto o termo participante estará denotando apenas o estudante que respondeu a pergunta para o resultado descrito.

e na percepção de atingimento dos objetivos de aprendizagem. Na média para todos os problemas, a percepção para motivação ficou em 86,2% e em 85,4% na percepção se conseguiram atingir os objetivos de aprendizagem. Os resultados para estes itens não têm objetivo de demonstrar que a abordagem possui um alto índice de aderência ou qualificar como a melhor aplicável, mas esses resultados podem ser utilizados como argumento de que a percepção dos estudantes é bem favorável. Por esse motivo essa abordagem pode ser encarada como uma alternativa para a abordagem tradicional.

A capacidade argumentativa e de sintetizar ideias é uma qualidade fundamental e esperada no estudante da área de Computação. Por esse motivo, é bastante relevante o resultado sobre a necessidade de análise e exposição clara de argumentos para elaboração de uma solução. Na avaliação dos participantes os problemas atingem integralmente o objetivo em quatro dos cinco problemas e no problema restante atinge para 85,7% dos participantes.

Trazer novos conhecimentos para os estudantes é umas das expectativas dos educadores e na percepção dos participantes este objetivo foi integralmente cumprido para três dos cinco problemas, sendo que na avaliação menos favorável o objetivo foi cumprido na percepção de 83,3% dos participantes.

Conseguir relacionar os conceitos com o mundo real é uma capacidade que permite aos estudantes propor soluções criativas e eficientes para problemas do dia a dia. Na percepção dos participantes os problemas que participaram se aproximam de um cenário real e atual, sendo a média favorável nessa questão de 86,1%.

Uma questão bem surpreendente nesse trabalho diz respeito à percepção dos estudantes sobre o trabalho em equipe. Quando perguntados sobre a contribuição para o trabalho em equipe, o Problema 5 teve apenas 42,9% de percepções favoráveis para a questão. Os demais problemas também não foram bem avaliados na questão e a média ficou em apenas 66,5%.

Na percepção dos participantes há ideias alternativas para uma mesma situação nos problemas. O Problema 5 teve a avaliação menos favorável para esse quesito, com 57,1%, provavelmente porque a discussão tenha sido concentrada na contradição que o problema utiliza para atingir o objetivo de aprendizagem. Os problemas 3 e 4 atingiram integralmente percepções favoráveis dos participantes, talvez a justificativa esteja em uma discussão muito mais aberta e com diversos caminhos identificados pelos estudantes. Na média esse quesito teve 88,3% de percepção favorável.

No que diz respeito às referências para estudo, os participantes avaliaram que ao menos uma das referências indicadas no texto dos problemas foi utilizada, mas também destacam que foi necessário buscar outras fontes que não estavam indicadas. Em ambos os casos a média ficou em 79,7%.

Sobre a utilidade dos conceitos aprendidos nos problemas para os profissionais da área de Computação, a média para a percepção favorável foi de 87,6%. Entender os conceitos como úteis ajuda na motivação dos estudantes, também por esse motivo esse resultado é muito bom para avaliação do indicador de motivação.

Para que os problemas atinjam os objetivos de aprendizagem é necessário que consigam mobilizar a discussão dos estudantes durante as sessões tutoriais e instigá-los

a continuar os estudos além das sessões. Para os participantes é quase consenso que as sessões tutoriais contribuem para o processo de resolução do problema. Na percepção dos participantes, apenas para o Problema 1 as sessões tutoriais não foram avaliadas com 100,0% como contribuidoras para o processo de resolução do problema, obtendo 92,9%. A média de 98,6%, ao se considerar todos os problemas, é uma das melhores do estudo.

Outro quase consenso é no que diz respeito à percepção dos participantes se os tutores contribuem, quando necessário, para a evolução das sessões tutoriais. Os resultados são os mesmos da questão anterior.

O *feedback* sobre o desempenho do grupo tutorial a cada sessão também foi bem avaliado pelo participantes. É importante dar retorno aos estudantes para que eles consigam identificar o que precisam melhorar ao longo do processo e obtenham melhores resultados nos estudos. A média geral ficou em 95,2%.

Em uma nota de 0 a 10, como uma avaliação geral do problema, o Problema 3 teve a melhor nota média, 7,57; a menor nota média foi 7,00 atribuída ao Problema 5.

Entre os 25 estudantes que iniciaram a disciplina, 12 estudantes participaram de todas as atividades e 9 desses foram aprovados por conceito, enquanto 3 foram reprovados. O índice de evasão para esse semestre ficou em 52%.

Algumas das percepções positivas mencionadas pelos participantes sobre a abordagem foram: “interessante”, “estimula o trabalho colaborativo”, “promissora”, “promove soluções rápidas” e “estimula reuniões úteis”.

Como oportunidade de melhoria para a aplicação da abordagem, os participantes sugeriram: (i) alternar as sessões PBL com aulas com conteúdos teóricos; (ii) calibrar a dificuldade dos problemas.

5. Conclusão

Os resultados dessa experiência servem como argumento de que é possível utilizar a abordagem baseada em problemas em disciplinas teóricas e obter resultados satisfatórios. A infraestrutura utilizada não é diferente do que normalmente há disponível nas instituições de ensino universitário, então, educadores que não tenham apoio institucional podem também tentar aplicar tal abordagem e obter resultados melhores que abordagem tradicional.

Os resultados dessa experiência não demonstram ganhos relevantes no que diz respeito ao índice de evasão dos estudantes, mas é necessário considerar que a abordagem foi aplicada em uma disciplina que possui um índice historicamente alto de evasão. Nessa situação, talvez fosse necessário acompanhamento ainda mais próximo desse indicador para atuar tempestivamente. Também é necessário identificar os principais motivos para que os estudantes desistam da disciplina.

A aplicação desta abordagem em outras instituições ou estudantes de perfis diferentes é necessária para avaliar os resultados em outros cenários desafiadores. A UFBA possui outros três cursos da área de Computação, além do curso de Sistema de Informação, que possuem em suas respectivas grades uma disciplina com os conceitos de Teoria da Computação, sendo assim potenciais cenários para aplicação da abordagem.

Embora os problemas tenham recebido avaliações positivas nas percepções dos

participantes em todos os critérios avaliados, também é necessário um estudo mais detalhado incluindo a perspectiva de educadores que ainda não aplicam a abordagem proposta.

A adesão dos estudantes desistentes nas pesquisas possui grande utilidade no sentido de trazer um resultado mais completo. Desta forma, se faz necessário que os estímulos sejam suficientes para que eles respondam às pesquisas.

No que diz respeito à absorção do conhecimento pelos estudantes, também é necessário realizar um trabalho comparativo com e sem a utilização da abordagem para avaliar essa perspectiva.

Por fim, os resultados dessa experiência e o cenário desfavorável no ensino e aprendizagem tradicional de Teoria da Computação confirmam grande potencial e espaço para aplicação da abordagem PBL nesse contexto.

Referências

- de Moraes, D. C. S., Alencar, A. D., and de Souza, R. (2011). Jogo baseado em m-learning e aprendizado tangencial para auxílio ao ensino de teoria da computação. In *Brazilian Symposium on Computers in Education (Simpósio Brasileiro de Informática na Educação-SBIE)*, volume 1.
- Dolmans, D. H., De Grave, W., Wolfhagen, I. H., and Van Der Vleuten, C. P. (2005). Problem-based learning: Future challenges for educational practice and research. *Medical education*, 39(7):732–741.
- Hamalainen, W. (2004). Problem-based learning of theoretical computer science. In *Frontiers in Education, 2004. FIE 2004. 34th Annual*, volume 3, pages 20–303. IEEE.
- Leite, L. S., Sibaldo, M. A. A., Carvalho, T., and Souza, R. (2014). Montanha de chomsky: jogo tutor para auxílio no ensino de teoria da computação. In *XXII Workshop sobre Educação em Informática (WEI 2014)*, Brasília, DF.
- O’Grady, M. J. (2012). Practical problem-based learning in computing education. *ACM Transactions on Computing Education (TOCE)*, 12(3):10.
- Pelissoni, C. G. and Carvalho, J. d. (2003). Uma proposta de metodologia para o ensino da disciplina interação humano-computador em cursos de computação e informática. In *XI Workshop sobre Educação em Informática (WEI 2003)*, Campinas, SP, volume 11.
- dos Santos, David Moises Barreto and Burnham, Teresinha Fróes (2003). O pensamento de Paulo Freire e PBL: primeiras aproximações e afastamentos. In *XI Workshop sobre Educação em Informática (WEI 2003)*, Campinas, SP.
- Silva, R. C., Binsfeld, R. L., Carelli, I. M., and Watanabe, R. (2010). Automata de-fense 2.0: reedição de um jogo educacional para apoio em linguagens formais e autômatos. In *Brazilian Symposium on Computers in Education (Simpósio Brasileiro de Informática na Educação-SBIE)*, volume 1.
- Vieira, L. F. M., Vieira, M. A. M., and Vieira, N. J. (2003). Language emulator, uma ferramenta de auxílio no ensino de teoria da computação. In *XIII Workshop sobre Educação em Computação–XXV Congresso da Sociedade Brasileira de Computação*.
- Wood, D. F. (2003). Problem based learning. *BMJ: British Medical Journal*, 326(7384):328.

Grau de Dificuldade de Problemas de Programação Introdutória: Uma Revisão Sistemática da Literatura

Rodrigo Elias Francisco¹, Cleon X. Pereira Júnior², Ana Paula Ambrósio³

¹ Instituto Federal Goiano (IFGoiano)
Morrinhos – GO – Brasil

²Instituto Federal Goiano (IFGoiano)
Campos Belos – GO – Brasil

³Instituto de Informática – Universidade Federal de Goiás (UFG)
Goiânia – GO – Brasil

{frodrigo.francisco, cleon.juniorg}@ifgoiano.edu.br, apaula@inf.ufg.br

Abstract. *Computer Science I (CSI) presents alarming failure rates, being considered one of the disciplines that retain the most in the initial phase of computer education. Implementation of problem solutions is key to introductory programming teaching, and often means solving a large number of problems. This impacts the teacher's workload as he has to create problem lists and correct them. Due to several constraints, lists are generic, not taking into account student's specific needs. Aiming the automatic generation of personalized exercise lists, a classified problem database must be implemented. This article presents a Systematic Review of Literature focusing on strategies to define the level of difficulty of introductory programming problems. The review aimed to answer the following question: What is the most appropriate strategy to measure the difficulty of CSI problems? At the end, it was possible to verify that researchers, when working on this theme, emphasized the concepts involved, aspects related to problem solving and error analysis.*

Resumo. *Ciência da Computação I (CSI) apresenta números alarmantes com relação à taxa de reprovação, sendo considerada uma das disciplinas que mais reprovam na fase inicial de formação em Computação. Resolver problemas com implementações é fundamental para a aprendizagem de programação introdutória, e quase sempre significa resolver um grande número de problemas. Isso aumenta a carga de trabalho do professor, pois ele precisa criar listas de problemas e corrigi-los. Devido a várias restrições, as listas são genéricas, não levando em conta as necessidades específicas do aluno. Visando a geração automática de listas de exercícios personalizadas, um banco de dados de problemas classificados precisa ser criado. Este artigo apresenta uma Revisão Sistemática de Literatura focada em estratégias para definir o grau de dificuldade de problemas de programação introdutória. A revisão teve como objetivo responder à seguinte pergunta: Qual é a estratégia mais adequada para medir a dificuldade dos problemas da CSI? Ao final, foi possível verificar que os pesquisadores, ao trabalharem sobre esse tema, enfatizaram os conceitos envolvidos, aspectos relacionados à solução de problemas e análise de erros.*

1. Introdução

A disciplina introdutória de programação, referenciada na literatura como CS1 (*Computer Science I*), é fundamental para a formação de profissionais de diversas carreiras, como Computação e Engenharia. [Watson and Li 2014], a partir de uma Revisão Sistemática da Literatura, encontraram uma taxa de 32,3% de alunos que não são aprovados na disciplina de CS1. Em um cenário nacional, [Bosse and Gerosa 2015] mostraram que na USP (Universidade de São Paulo), de 2010 a 2014, essa disciplina teve um percentual médio de reprovações e trancamentos de 29,31%, sendo que este número se manteve praticamente constante e que é uma das que mais reprovam no primeiro semestre dos cursos de Computação, o que evidencia os desafios no ensino de CS1. No intuito de melhorar a situação, pesquisadores investigam questões que se relacionam com o ensino de programação. O uso de diversas linguagens e metodologias têm sido propostos, mas ainda é um problema em aberto.

No entanto, é comum entre os docentes, nas suas práticas de ensino, enfatizarem os aspectos do conhecimento de programação (sintaxe e semântica) em detrimento das estratégias de resolução de problemas, talvez porque as estratégias de resolução de problemas são consideradas bastante difíceis na percepção dos alunos [Malik and Coldwell-Neilson 2016]. Para facilitar este trabalho, ferramentas vêm sendo desenvolvidas para promover a habilidade de resolução de problemas e o desenvolvimento da lógica de programação [Noschang et al. 2014].

Algumas pesquisas realizadas foram capazes de encontrar relações cognitivas com a capacidade de aprendizagem de programação. [Martins et al. 2010] destacam o relacionamento da disciplina de CS1 com processos cognitivos como a criatividade e racionalidade, que necessitam de meta-habilidades como abstração e inferência, e se relacionam com habilidades de leitura, interpretação e contextualização. [Kramer 2007] também destaca a necessidade da habilidade de abstração por parte dos alunos.

Para desenvolver estas habilidades, o aluno precisa resolver muitos problemas. No entanto, preparar e corrigir extensas listas é muito dispendioso para os docentes, o que motiva investir em estratégias para automatizar o processo. Isto implica em ter bancos de problemas para uso nestes sistemas. Para permitir selecionar os problemas adequados para cada situação, é necessário que se tenha previamente classificado os problemas em categorias relevantes, como por exemplo: conteúdo, dificuldade, etc. O estudo apresentado colabora com uma estratégia maior, que visa propor cursos de CS1 personalizados, trabalhando com Juízes *Online* e Ambientes Virtuais de Aprendizagem (AVA), para serem usados nos ensinos presencial e a distância (EaD).

Esse cenário motiva a pesquisar sobre a dificuldade de problemas de CS1, o que contribui para estratégias didáticas mais efetivas, e.g. com avaliações contendo notas mais justas. Neste aspecto, será apresentada uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) sobre a dificuldade de problemas de CS1.

Este artigo está organizado como se segue. A Seção 2 apresenta a metodologia aplicada na RSL, dividida em planejamento, execução e resultados. A Seção 3 apresenta os resultados da RSL após os critérios de inclusão e exclusão. Por fim, na Seção 4 são apresentadas as conclusões obtidas através da RSL.

2. Metodologia

Esta RSL segue as instruções elaboradas por [Kitchenham 2004], cuja condução se subdivide em três etapas: Planejamento, Execução e Resultados (Figura 1).

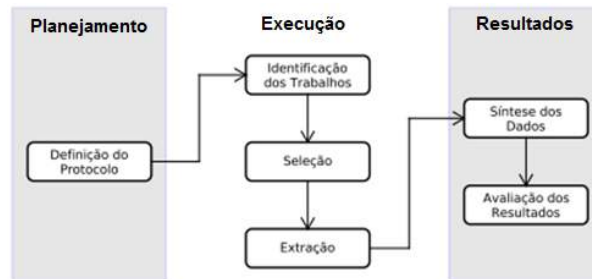


Figura 1. Fases de uma RSL - adaptado de [Vieira et al. 2016]

2.1. Planejamento

Esta RSL tem como objetivo para responder à questão **Qual é a estratégia mais adequada para medir a dificuldade de problemas de CS1?**. Para isso, outras duas questões de pesquisa foram definidas:

- **QP1:** Quais estratégias já foram usadas para medir a dificuldade de problemas de CS1?
- **QP2:** Como validar a estratégia para medir a dificuldade de problemas de CS1?

Para responder às perguntas levantadas, foi realizada uma busca nas bases de artigos científicos, considerando os trabalhos de 2010 a 2016 (Com a data limite de 14/12/2016). Foram selecionadas as bases de pesquisa: *IEEE Explorer Digital Library*, *ACM Digital Library*, *Science Direct* e *Scopus*. Estas bases foram escolhidas pois disponibilizam mecanismo de consulta via *web*, estão relacionadas a temas de Computação e Informática e permitem filtro por ano de publicação. Foram considerados trabalhos publicados em português e inglês. A Tabela 1 descreve as *strings* usadas nas buscas.

Tabela 1. Strings de busca para a seleção de artigos

STRINGS DE BUSCA	
Idioma	String
Português	("dificuldade") AND ("problema"OR "problemas") AND ("programação introdutória"OR "introdução a programação"OR "ciência da computação 1"OR "CS1")
Inglês	("difficulty") AND ("problem"OR "problems") AND ("introductory programming"OR "introduction to programming"OR "computer science 1"OR "CS1")

A tabela 2 apresenta os critérios de inclusão e exclusão, que foram construídos considerando as questões de pesquisa.

2.2. Execução

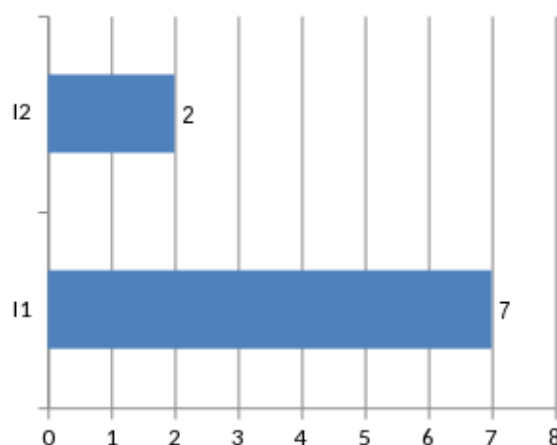
Como mostra a Figura 1, a execução é composta de três etapas: identificação dos trabalhos, seleção e extração. A identificação dos trabalhos visa executar o plano da RSL e obter a lista de artigos. A seleção ocupa-se da leitura dos artigos realizada de uma maneira mais geral (título, palavras-chave e resumo). A extração exige que seja feita a leitura completa dos artigos, buscando realizar uma síntese com ênfase nas questões de pesquisa levantadas no planejamento.

Tabela 2. Critérios de Inclusão e Exclusão

Critérios	ID	Descrição
Exclusão	E1	Texto completo não disponível para acesso na Web
	E2	Escrito em outro idioma
	E3	Trabalho não aborda dificuldade de problemas de CS1
	E4	Não é um capítulo de livro com resumo ou artigo de periódico ou de conferência
	E5	Publicação duplicada
Inclusão	I1	Aborda estratégias usadas para medir dificuldade de problemas de CS1
	I2	Aborda validação de estratégias usadas para medir dificuldade de problemas de CS1

- A identificação dos trabalhos trouxe um total de 39 trabalhos.
- Na seleção, 24 trabalhos foram excluídos por não estarem ligados ao tema (E3) e 7 foram excluídos por estarem duplicados (E5), restando 8 artigos.
- Na extração, somente um trabalho foi removido, por não estar ligado ao tema (E3).

A Figura 2 mostra a distribuição dos 7 trabalhos, resultantes da extração, para as questões de pesquisa. É preciso considerar a legenda: I1 - Aborda estratégias usadas para medir dificuldade de problemas de CS1, e I2 - Aborda validação de estratégias usadas para medir dificuldade de problemas de CS1.

**Figura 2. Trabalhos incluídos na extração conforme critérios**

3. Resultados

A leitura dos trabalhos considerando os critérios da RSL permitiu realizar uma síntese dos dados. Isso possibilitou responder a cada uma das duas questões de pesquisa e formar uma visão geral sobre o assunto.

QP1: Quais estratégias já foram usadas para medir a dificuldade de problemas de CS1?

A Tabela 3 mostra os grupos de características encontrados nos trabalhos estudados.

A compreensão da dificuldade de problemas a partir dos erros ocorridos foi praticada nos trabalhos [Bryce et al. 2010, Cherenkova et al. 2014, Lakanen et al. 2015]. A partir de atendimentos de tutores a alunos visando assistência em atividades,

Tabela 3. Características encontradas nos trabalhos sobre dificuldade de problemas de CS1

CONJUNTO	CARACTERÍSTICA	REF.	Nº TRAB.
Erros	Erros dos alunos	[Bryce et al. 2010, Lakanen et al. 2015]	3
	Erros nos programas	[Cherenkova et al. 2014]	
	Cálculo de percentuais de acertos	[Cherenkova et al. 2014]	
Conceitos de programação	Sintaxe da linguagem	[Malik and Coldwell-Neilson 2016]	4
	Sequência	[Simon 2011]	
	Estruturas de seleção	[Cherenkova et al. 2014, Bryce et al. 2010]	
	Estruturas de repetição	[Bryce et al. 2010, Cherenkova et al. 2014]	
	Matrizes unidimensionais	[Malik and Coldwell-Neilson 2016]	
	Matrizes bidimensionais	[Bryce et al. 2010]	
	Strings	[Bryce et al. 2010]	
	Funções	[Malik and Coldwell-Neilson 2016]	
	Entrada e saída em arquivos	[Bryce et al. 2010]	
Estratégias de pesquisa	Dificuldade analisada por professor	[Llana et al. 2012, Denny et al. 2015]	7
	Análise da Solução escrita pelo autor do problema	[Denny et al. 2015]	
	Resolução do problema para estimar a dificuldade	[Llana et al. 2012]	
	Estudo da dificuldade para o contexto da disciplina	[Bryce et al. 2010, Simon 2011, Cherenkova et al. 2014] [Malik and Coldwell-Neilson 2016]	
	Estudo da dificuldade para o contexto do problema	[Llana et al. 2012, Denny et al. 2015, Lakanen et al. 2015]	
Resolução de Problemas	Raciocínio lógico	[Bryce et al. 2010]	6
	Síntese a partir da leitura do código-fonte	[Simon 2011]	
	Lidar com o problema sem o computador	[Lakanen et al. 2015]	
	Compreensão das estratégias de resolução de problemas	[Malik and Coldwell-Neilson 2016]	
	Compreensão textual	[Denny et al. 2015, Cherenkova et al. 2014, Bryce et al. 2010] [Lakanen et al. 2015]	

[Bryce et al. 2010] categorizaram os principais erros dos estudantes com dificuldades na disciplina de CS1 ao escrever programas. Já [Lakanen et al. 2015] investigaram os erros dos alunos na resolução do problema *Soloway's Rainfall*, que pede a criação de um programa que leia números inteiros até quando a entrada for igual a 99999 e escreva a sua média. A partir de uma análise minuciosa, concluíram que os principais erros foram relacionados às tarefas (divisão por zero, contagem de entradas válidas, controle das repetições, cálculo da média envolvendo a sequência do algoritmo e entendimento do texto).

A pesquisa de [Cherenkova et al. 2014] sugere a tendência de certos tipos de erros nos programas que não são considerados pelas avaliações do sistema *CodeLab* (Sistema *web* de problemas de programação introdutória para turmas de programação introdutória), e.g. um problema que enfatiza estruturas de seleção possui o erro *Reversed comparison operator* executado por 28.52% dos estudantes. Por outro lado, [Cherenkova et al. 2014] calcularam os percentuais de acertos nas implementações visando identificar os problemas difíceis no sistema *CodeLab*.

Houve o interesse em associar a dificuldade dos problemas com os conceitos de CS1 nos trabalhos [Cherenkova et al. 2014, Bryce et al. 2010, Simon 2011, Denny et al. 2015]. [Bryce et al. 2010] concluem que os conceitos (estruturas de repetição, instruções *switch*, matrizes, entrada/saída em arquivos, *strings*) se relacionam com as dificuldades dos alunos de CS1 e que estas dificuldades envolvem o entendimento da lógica e da sintaxe, e [Cherenkova et al. 2014] identificaram, a partir de uma base de 266.852 registros, que os conceitos de CS1 que os alunos têm mais dificuldade são estruturas de seleção e estruturas de repetição. [Malik and Coldwell-Neilson 2016] aponta como dificuldade compreender as estruturas de programação, e relaciona os temas: estruturas de repetição, funções e vetores.

No entanto, [Simon 2011] fez pesquisas que confirmaram a dificuldade dos alunos

em entender a sequência dos algoritmos. Existem alunos que parecem acreditar que grupos de declarações são executados simultaneamente ao invés de sequencialmente e, por isso, não entendem atribuições de variáveis nos programas. Esse conceito é pré-requisito para que os alunos consigam entender os demais, e se relaciona com a dificuldade de aprender a sintaxe da linguagem de programação [Malik and Coldwell-Neilson 2016].

Houve o interesse dos trabalhos [Bryce et al. 2010, Cherenkova et al. 2014, Simon 2011, Malik and Coldwell-Neilson 2016] em buscar a dificuldade dos alunos na disciplina de CS1 como um todo. No entanto, a preocupação em levantar a dificuldade específica de cada problema foi verificada nos trabalhos [Denny et al. 2015, Lakanen et al. 2015, Llana et al. 2012]. [Lakanen et al. 2015] investigaram a resolução do problema *Soloway's Rainfall*.

A prática de professores medirem as dificuldades dos problemas foi verificada nos trabalhos [Llana et al. 2012, Denny et al. 2015]. [Denny et al. 2015] mediram as dificuldades de problemas inventados pelos alunos a partir da análise da descrição do exercício, da solução padrão escrita pelo autor e dos conceitos que haviam sido ensinados no curso até o momento em que a atividade foi inventada. Já [Llana et al. 2012], no projeto *FLOP*, usaram uma estratégia que solicita que professores resolvam os problemas para contribuir com a medição de sua dificuldade.

Segundo os trabalhos [Bryce et al. 2010, Simon 2011, Lakanen et al. 2015, Cherenkova et al. 2014, Denny et al. 2015, Malik and Coldwell-Neilson 2016], as questões relacionadas à resolução de problemas impactam na dificuldade. A capacidade de compreensão e o entendimento da lógica representam os maiores problemas relacionados às dificuldades dos alunos identificadas na pesquisa de [Bryce et al. 2010]. [Lakanen et al. 2015] identificaram a dificuldade no entendimento do texto a partir da resolução do problema *Soloway's Rainfall*. Entretanto, [Malik and Coldwell-Neilson 2016] trazem como dificuldade compreender as estratégias de resolução de problemas. Essas considerações são essenciais para a evolução da pesquisa.

Outros trabalhos realizados mostram a inclinação das pesquisas para essa linha que envolve a dificuldade de compreensão. [Cherenkova et al. 2014] se empenharam para levantar a dificuldade textual do problema por meio de análises de comprimento do texto, vocabulário e referências culturais, porém os resultados não chegaram a nenhuma conclusão. [Denny et al. 2015], para calcular a dificuldade de problemas de CS1, realizaram análises da descrição do exercício a partir da sua leitura.

Por outro lado, porém ainda envolvendo a resolução de problemas, [Simon 2011] menciona sobre a dificuldade dos alunos em ler um código-fonte e explicá-lo de maneira sintetizada e entende que essa dificuldade, em muitos casos, está relacionada à não compreensão da sequência do algoritmo.

QP2: Como validar a estratégia para medir a dificuldade de problemas de CS1?

A Tabela 4 resume as características encontradas nos trabalhos referentes à validação.

Existem ameaças que impedem de generalizar os resultados da pesquisa de

Tabela 4. Características encontradas nas validações dos trabalhos sobre dificuldade de problemas de CS1.

CARACTERÍSTICA	REF.	Nº TRAB.
Impossibilidade de generalizar informações	[Bryce et al. 2010]	1
Considerar conceitos ensinados no curso até o momento da invenção da atividade	[Denny et al. 2015]	1
Relacionar proporção de submissões corretas para cada problema com o nível de dificuldade	[Denny et al. 2015]	1

[Bryce et al. 2010] a todos os estudantes. Essas ameaças apareceram ao observar que: (a) existem erros adicionais que os alunos não conhecem, (b) a coleta de dados ocorreu apenas de alunos que visitaram o laboratório de tutoria, e (c) a eficácia do professor pode distorcer esses resultados. É preciso considerar essas informações na validação das estratégias.

[Denny et al. 2015] fizeram uma validação empírica para a classificação humana da dificuldade e a apontaram como satisfatória. A proporção de submissões corretas para cada problema foi usada, visando considerar que os exercícios mais fáceis possuem uma proporção maior de submissões bem sucedidas. Porém, a possibilidade de plágio pode ameaçar essa validação. Os autores encontraram uma relação entre a dificuldade do exercício inventado pelo aluno e seu desempenho no exame. Essa relação mostrou que os estudantes que criaram exercícios mais difíceis tiveram melhor desempenho no exame.

Ao medirem as dificuldades de problemas inventados pelos alunos, [Denny et al. 2015] consideraram os conceitos que haviam sido ensinados no curso até o momento em que a atividade foi inventada. Isso traz novas perspectivas para a área, trazendo questionamentos sobre a validade de diversas pesquisas que não observaram este detalhe.

QP: Qual é a estratégia mais adequada para medir a dificuldade de problemas de CS1?

Buscando responder a essa pergunta, sugere-se a necessidade de pesquisas com planejamento que considere as questões relacionadas à validação e que explorem as características relacionadas à dificuldade de problemas trazidas por esta RSL.

O estudo de [Bryce et al. 2010] apresenta ameaças que impactam diretamente na validação da pesquisa, e.g, a existência de erros adicionais que os alunos não conhecem, dados coletados apenas de alunos que visitaram o laboratório de tutoria e a eficácia do professor. Diferente da abordagem dos trabalhos [Llana et al. 2012, Denny et al. 2015], que usam a classificação da dificuldade pelo professor, é sugerido que a validação trabalhe com dados que representem as opiniões dos alunos.

[Denny et al. 2015] abordou o uso da informação de quais conceitos foram apresentados para os alunos até o momento da classificação da dificuldade, trazendo considerações importantes para a validação das pesquisas. Entende-se que a capacidade do aluno é variável no tempo e existem alunos com diferentes capacidades em uma sala de aula. Logo, é importante trabalhar com conjuntos de alunos quanto às suas habilidades e/ou capacidades cognitivas para ter informações mais reais sobre a dificuldade.

Quanto às características que relacionam-se com a dificuldade, é possível perceber uma inclinação em trabalhar com (1) conceitos envolvidos

[Bryce et al. 2010, Cherenkova et al. 2014, Simon 2011, Denny et al. 2015], (2) aspectos referentes à resolução de problemas [Bryce et al. 2010, Simon 2011, Lakanen et al. 2015, Cherenkova et al. 2014, Denny et al. 2015], envolvendo, e.g., a compreensão textual e a capacidade de síntese a partir da leitura do código-fonte, e (3) análise de erros [Bryce et al. 2010, Lakanen et al. 2015, Cherenkova et al. 2014].

Propõe-se, como resultado da QP, visando a evolução da pesquisa, a criação de instrumentos para avaliar a dificuldade de problemas de CS1 que considerem as reflexões trazidas por esta RSL. É importante lembrar que os instrumentos precisam ter reprodutibilidade, pois esta característica permitirá a comparação de diferentes contextos socioeconômico-culturais de maneira mais objetiva, e.g. usando estatística. Observa-se as dificuldades em reproduzir as pesquisas.

4. Conclusão

Tornar o ensino mais justo é desafio e obrigação da educação como um todo. No entanto, ter avaliações mais justas depende de atividades com pesos de dificuldade corretos e que o professor se dedique no processo ensino-aprendizagem. Sabe-se que programas de computadores são ricos em detalhes e que nem sempre o professor consegue dar *feedback* necessário ao aluno devido à sua alta carga de trabalho. Este cenário atual, por um lado, pode criar o perfil de um aluno mais autônomo e, por outro, traz a necessidade de investigar a prática docente na área de programação.

Ao estudar a possível estratégia para medir a dificuldade de problemas de CS1, depara-se com a questão da validação. A validação depende de dados que representem a dificuldade na percepção dos alunos. A subjetividade destes dados torna a tarefa bastante crítica, além da necessidade de considerar a capacidade do aluno.

Para que o aluno resolva corretamente um problema de CS1, ele precisa conhecer a linguagem de programação e a solução do problema. Isso relaciona-se com a explicação de [Cukierman et al. 2007], que aborda a multidisciplinaridade no trabalho da área de *software*, considerando que construir *software* não é só programar. Esse cenário traz o desafio de compreender a dificuldade de entender o problema de CS1 mesmo antes de iniciar a programação, o que se relaciona com as estratégias de resolução de problemas [Malik and Coldwell-Neilson 2016].

Diante deste cenário de pesquisa, diversas estratégias já foram realizadas. Por exemplo, [Oliveira et al. 2016] propuseram a ferramenta *NextStep*, cujo foco foi sequenciar de maneira inteligente e adaptativa os enunciados de CS1 usando grafos genéticos. A intenção foi, a partir de informações referentes ao modelo do aluno, sugerir a sequência de problemas mais adequada. Verificou-se que os autores acabaram trabalhando com a dificuldade de problemas de maneira indireta, ao solicitar que docentes realizassem uma sequência prévia, o que afirma a relevância desta RSL.

Essa pesquisa desencadeou novos questionamentos e interesses. A Computação pode ser compreendida a partir de diferentes camadas de abstração e dependendo de como se quer aplicá-la são alterados os detalhes a serem enfatizados, pois escrever um algoritmo paralelo para Inteligência Artificial é diferente de construir um Sistema de Informação Empresarial ou de um *Software* Embarcado para Robótica. No entanto, o conteúdo de CS1 é pré-requisito necessário para o aluno avançar nestas profissões. Isso mostra a im-

portância de investigar questões sobre a formação na área de Computação e suas relações com a prática profissional em diferentes perspectivas.

4.1. Trabalhos Futuros

Pretende-se: (a) verificar como são calculadas as dificuldades de problemas de outras áreas (e.g. Física e Matemática), pois pode contribuir com parte do problema; (b) criar um repositório de problemas de programação com diversos atributos (e.g. disciplina, características textuais e do código-fonte, interação problema-aluno), o que possibilitará realizar classificações conforme necessidade; (c) identificar o método de resolução de problemas usado pelo aluno e analisar sua relação com a dificuldade do problema percebido; (d) projetar um Juiz *Online*, usando padrões de Engenharia de *Software* que enfatizem comunicabilidade e manutenibilidade, que contribuam com este tipo de pesquisa ao acoplar o repositório (item b) e possibilite exportar dados anônimos para cientistas de dados.

Referências

- Bosse, Y. and Gerosa, M. A. (2015). Reprovações e trancamentos nas disciplinas de introdução à programação da universidade de são paulo: Um estudo preliminar. In *XXIII WEI-Workshop sobre Educação em Informática. Recife, Julho*.
- Bryce, R. C., Cooley, A., Hansen, A., and Hayrapetyan, N. (2010). A one year empirical study of student programming bugs. In *Frontiers in Education Conference (FIE), 2010 IEEE*, pages F1G–1. IEEE.
- Cherenkova, Y., Zingaro, D., and Petersen, A. (2014). Identifying challenging cs1 concepts in a large problem dataset. In *Proceedings of the 45th ACM technical symposium on Computer science education*, pages 695–700. ACM.
- Cukierman, H. L., Teixeira, C., and Prikladnicki, R. (2007). Um olhar sociotécnico sobre a engenharia de software. *Revista de Informática Teórica e Aplicada*, 14(2):199–219.
- Denny, P., Cukierman, D., and Bhaskar, J. (2015). Measuring the effect of inventing practice exercises on learning in an introductory programming course. In *Proceedings of the 15th Koli Calling Conference on Computing Education Research*, pages 13–22. ACM.
- Kitchenham, B. (2004). Procedures for performing systematic reviews. *Keele, UK, Keele University*, 33(2004):1–26.
- Kramer, J. (2007). Is abstraction the key to computing? *Communications of the ACM*, 50(4):36–42.
- Lakanen, A.-J., Lappalainen, V., and Isomöttönen, V. (2015). Revisiting rainfall to explore exam questions and performance on cs1. In *Proceedings of the 15th Koli Calling Conference on Computing Education Research*, pages 40–49. ACM.
- Llana, L., Martin-Martin, E., and Pareja-Flores, C. (2012). Flop, a free laboratory of programming. In *Proceedings of the 12th Koli Calling International Conference on Computing Education Research*, pages 93–99. ACM.
- Malik, S. I. and Coldwell-Neilson, J. (2016). A model for teaching an introductory programming course using adri. *Education and Information Technologies*, pages 1–32.

- Martins, S. W., Mendes, A. J., and Figueiredo, A. D. (2010). Comunidades de investigação em programação: Uma estratégia de apoio ao aprendizado inicial de programação. *IEEE-RITA*, 5(1):39–46.
- Noschang, L. F., Fillipi Pelz, E. A., and Raabe, A. (2014). Portugol studio: Uma ide para iniciantes em programação. *Anais do CSBC/WEI*, pages 535–545.
- Oliveira, C. M., Pimentel, A., and Maschio, E. (2016). Nextstep: Um protótipo para o sequenciamento inteligente e adaptativo de enunciados em programação de computadores. In *Anais dos Workshops do Congresso Brasileiro de Informática na Educação*, volume 5, page 1238.
- Simon (2011). Assignment and sequence: Why some students can't recognise a simple swap. *Koli Calling '11*.
- Vieira, M. A. et al. (2016). Modelagem de espaços inteligentes pessoais e espaços inteligentes fixos no contexto de cenários de computação ubíqua.
- Watson, C. and Li, F. W. (2014). Failure rates in introductory programming revisited. In *Proceedings of the 2014 conference on Innovation & technology in computer science education*, pages 39–44. ACM.

Collaborative Encyclopedia of Algorithms - AlgPedia

Thais N. Viana, João C. P. da Silva, Carla A. D. M. Delgado,
Carlos Eduardo da S. Martins, Fernando R. Gouvêa

¹Dep. de Ciência da Computação – Universidade Federal do Rio de Janeiro
Ilha do Fundão – CCMN – Rio de Janeiro – RJ – Brasil

{thais, carla}@ppgi.ufrj.br, {jcps, csmartins, fernando.srg}@ufrj.br

***Abstract.** The process of building and sharing knowledge gained ground in academic research in the last decade, as more participative ways of learning became feasible. Difficult learning tasks, like learning how to program, can now count with technological support for more democratic ways of learning. In this article we present AlgPedia, a free encyclopedia about algorithms and programs in a wiki format. AlgPedia's goal is to serve information not only to humans but also to other programs. Regarding human usage, AlgPedia's intent is to support and encourage the creation of collaborative content, besides helping the software developers' community to find the best algorithmic solutions and the best suited implementations for their problems. Behind the wiki interface, the AlgPedia web platform supports a semantic database that can be accessed by intelligent non-human agents.*

1. Introduction

It is widely recognised by the academic community that learning how to program is an extremely difficult activity [de Castro et al. 2004]. Many resources have been created to help in this task. With technological advancement in the last two decades new forms of learning emerged and others, as self education, gained momentum. Considering the big picture, the process of building and sharing knowledge was democratized and gained ground in academic research. As pointed out by Pierre Lévy in [Lévy 2001], the human relations with formal knowledge are changing, creating what Lévy called distributed intelligence; knowledge lives in the collective, since no one knows everything but everyone knows something.

According to [Wagner and Prasarnphanich 2007], attempts to create online content through the collective action of many individuals with no explicit incentives should be futile, as rational actors should maximize individual benefits and thus consume as much content as possible, with the least possible effort to contribute. Yet Wikipedia came to be the most successful encyclopedia in the world. A likely source of its success is its open architecture based on wiki technology¹, which makes minor contributions feasible and valuable. Also, the simplicity of the wiki gives the participants the feeling that less specialist skills are required to participate.

This dynamics fits very well to the growing tendency of creating opportunities for “hands on” learning experiences [Blumenfeld et al. 1997, Wood 2003,

¹A wiki is a set of linked web pages, incrementally created by a group of collaborating users, as well as the software used to manage and publish the web pages.

Pedaste et al. 2015]. As Critical thinking, Communication, Collaboration, and Creativity became the so-called four Cs of twenty-first century skills [Association et al. 2012], emphasis has shifted from the way content is transmitted to the role of the individual learner in constructing understanding and the influence of the social environment on that construction.

In this article we present AlgPedia, a free encyclopedia about algorithms and programs in a wiki format. Every person is welcome to use AlgPedia, either creating content, rating content, collaborating and consuming content, all of which are valid forms of learning. As a means to push the community knowledge further, AlgPedia has also the intent to help the software developers' community to find the best algorithmic solutions and the best suited implementations for their problems, for what recommendation and reputation systems based on user's content evaluation are used. At last, AlgPedia has the goal to serve information to other programs, like classifiers and recommenders, so that other applications could be build and profit from the knowledge stored in AlgPedia.

The following sections present in detail the AlgPedia Project and the web platform developed. In Section 2 other works that aim to support the Computer Science community with information about algorithms and their implementations are discussed and compared to AlgPedia. Section 3 presents the AlgPedia Project in more detail, and the models that implement its platform. Finally, Section 4 states our main results and conclusions not only in the process of designing and building AlgPedia, but also regarding AlgPedia's usage by the community up to now, after almost three years since AlgPedia was launched.

2. Related Work

AlgPedia was motivated by the absence of a portal comprising theoretic and practical information about algorithms and implementations. So AlgPedia was conceived as a project uniting structured information, comments, implementations, evaluation and performance aspects, among other related content.

There are other projects with the purpose to support the Computer Science community of developers and students in the process of learning a new programming language, like Rosetta Code² and Stack Overflow³. Rosetta Code is a programming chrestomathy⁴ site, where solutions to the same tasks are presented in many different languages, to demonstrate how languages are similar and different, and to aid a person with a grounding in one approach to a problem in learning another. Rosetta Code currently has 782 tasks, 193 draft tasks, and is aware of 609 languages [Nanz and Furia 2015].

Rosetta Code and AlgPedia are both wiki repositories for computer programs related content, though there are significant differences among them. Rosetta Code main content consists of implementations for tasks while AlgPedia main content are algorithms. In Rosetta Code programs are related to computational tasks as reversing a string, whereas in AlgPedia implementations are related to more general, classic categories of algorithms as for example sorting or machine learning. This is a conceptual feature that tackles the identity of the repository and its perceived usage. Algorithms for a task (in spite of the

²rosettacode.org

³<http://stackoverflow.com>

⁴Chrestomathy is a selection of literary passages, specially used as an aid in learning a subject.

	Structured Information	Implem.	Comments and Reviews	Recommendation and Ranking
DBpedia	Yes	No	No	No
Wikipedia	No	Yes	No	No
Rosetta Code	No	Yes	No	No
Stack Overflow	No	No	Yes	Yes
AlgPedia	Yes	Yes	Yes	Yes

Table 1. Comparison among web repositories of algorithms/computer programs related content

language implemented) have a common set of features that can be documented in AlgPedia, but have no place in Rosetta Code. Also, implementations for the same task in Rosetta Code are not ranked according to any criteria, and the community can not comment the implementations. Both features are available in AlgPedia.

Stack Overflow on the other hand has comments and evaluation schema which is used to recommend and rank information [Manykina et al. 2011, Bacchelli et al. 2012]. But it is not the goal from Stack Overflow to provide implementations for algorithms. Stack Overflow website is a place for users to ask and answer questions and, through membership and active participation, to vote questions and answers up or down.

We can consider that the information available in the web that looks most similar to AlgPedia is the subset of pages from Wikipedia about algorithms. But, as it happens in Rosetta Code, users can not add comments and evaluations (for instance, comments regarding readability or performance) to the available implementations. Also, the content is not organized in a way to prioritize showing the users the best implementations.

Regarding the semantic perspective, just DBpedia⁵ provides structured knowledge. DBpedia is a crowd-sourced community effort to extract structured information from Wikipedia and Wikidata and make this information available on the web. DBpedia allows one to ask sophisticated queries against Wikipedia, and to link the different data sets on the web to Wikipedia data [Bizer et al. 2009, Morsey et al. 2011]. The aim is to make it easier for the huge amount of information in Wikipedia to be used in some new interesting ways, and also to inspire new mechanisms for navigating, linking, and improving the encyclopedia itself [Lehmann et al. 2015].

A comparison of the aforementioned projects regarding the main features from AlgPedia can be seen in Table 1. It can be seen that no other project alone would cover all features from AlgPedia. AlgPedia has the specific goal to store and support the advancement of the community knowledge on algorithms and programs, whereas the other mentioned platforms have different main goals, though not less important ones.

3. The AlgPedia Project

The main goal from AlgPedia is the advancement of the community knowledge on algorithms and programs, by means of the collaborative construction and access of knowledge on this subject. Regarding information access, AlgPedia should deliver relevant information on computer algorithms both to humans and computers. With this in mind, the

⁵<http://wiki.dbpedia.org/>

AlgPedia web platform was constructed. This platform is able to serve human users, and also works to support a semantic database that can be accessed by intelligent non-human agents. Figure 1 shows a global perspective of the project. In the following sections the main modules that compose the AlgPedia platform are described: *data extraction*, *web portal*, *semantic base*, *evaluation and recommendation*.

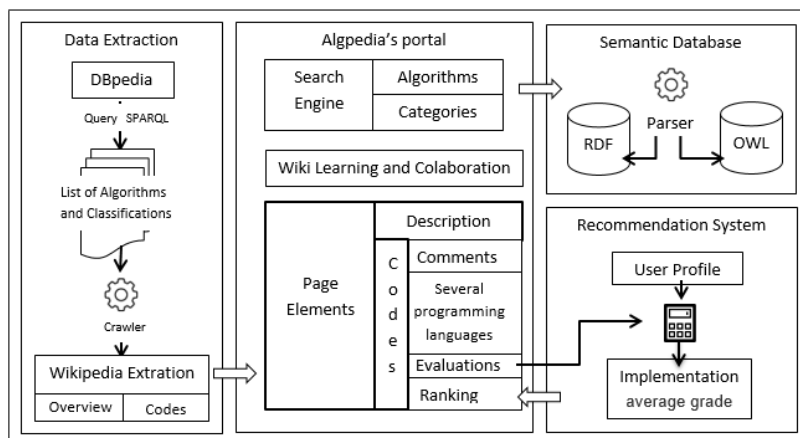


Figure 1. An overview of AlgPedia platform implementation structure.

3.1. Data extraction module

The engagement of users in a collaborative system is key for its success, but it might take time until the community comes to actively and continuously contribute to it [Xiao et al. 2007]. The purpose of the data extraction module is to create the initial content (seed data) for the wiki platform [Aigrain 2003], so that users have some content to consume even before the collaborations start to happen. A crawler [Manning et al. 2008] was created to extract information from DBpedia and Wikipedia and use this information to populate AlgPedia.

At first, DBpedia Knowledge Base was queried using a SPARQL [Pérez et al. 2009] endpoint, looking for algorithms resources like *algorithm's name*, *author*, *category* and its *DBpedia and Wikipedia pages*. Then we looked for pseudo-codes and implementations (identified as code boxes) that appeared in the selected Wikipedia pages (in English and Portuguese). In case such code boxes were not found, the page was discarded. For pages where we identified such code boxes, we extracted the implementation code (or pseudo-code) and the name of the programming language used, as well as the first paragraph of the Wikipedia page to be used as a description of the algorithm in AlgPedia. We could not identify in DBpedia any specific relation that could be associated to author of an algorithm. We noted that in very few cases the information about the author could be extracted from DBpedia property *rdfs:comment* if we had in that the text *"provided by ..."*. Links to DBpedia and Wikipedia are also available in the AlgPedia page for each extracted algorithm (Figure 2).

The first extraction was done in 2014. 117 algorithms, 291 implementations and only 7 authors were successfully extracted from Wikipedia and inserted in the AlgPedia's relational database. A lot of data was extracted but could not be automatically classified so we were not able to use it. Another extraction was done in late 2016, but at this time

Sorting Algorithms

About: An american flag sort is an efficient, in-place variant of radix sort that distributes items into hundreds of buckets. Non-comparative sorting algorithms such as radix sort and american flag sort are typically used to sort large objects such as strings, for which comparison is not a unit-time operation.[1] American flag sort iterates through the bits of the objects, considering several bits of each object at a time. For each set of bits, american flag sort makes two passes through the array of objects: first to count the number of objects that will fall in each bin, and second to place each object in its bucket. This works especially well when sorting a byte at a time, using 256 buckets. With some optimizations, it is twice as fast as quicksort for large sets of strings.[1] [More Information]

Implementations : +

PYTHON

```
def get_radix_val(x, digit, radix):
    return int(floor(x / radix**digit)) % radix

def compute_offsets(a_list, start, end, digit, radix):
    counts = [0 for _ in range(radix)]
    for i in range(start, end):
        val = get_radix_val(a_list[i], digit, radix)
        counts[val] += 1
    offsets = [0 for _ in range(radix)]
    sum = 0
    for i in range(radix):
        offsets[i] = sum
        sum += counts[i]
    return offsets
```

★★★★★

Fonte: W

Figure 2. Sort Algorithm example

we did not consider author names and implementations. This time 2144 algorithms were extracted. There since our extractor is being improved so that we periodically check if there are new algorithms from Wikipedia to be automatically inserted in AlgPedia.

3.2. Web portal module

This module adds all features a user has available in the domain <http://algpedia.dcc.ufrj.br/>. These features can be classified in three main groups:

WikiLearning and Colaboration comprises all collaboration opportunities a user has: *add or edit algorithms and implementations, make comments, ask to become a moderator user*. In order to collaborate, the user needs to be authenticated so a profile creation step is require.

Search engine In general, the users of wiki projects have an access profile similar to the *known-item-search*. *Known-item-search* is a search for an item for which the author or title is known [Ogilvie and Callan 2003]. The ordinary AlgPedia user knows the name of the algorithm he is searching for, or at least the category that the algorithm he wants, before he starts to search or navigate in AlgPedia. The search system implemented in AlgPedia is not constructed on top of a query in a relational database. Our search goes through the items in classes “Algorithm” and “Classification” in the AlgPedia semantic database. More details about the Algpedia semantic database can be found in section 3.3.

Page elements Refers to the information a user will see while looking at the webpage of an algorithm in AlgPedia: a theoretical description of the algorithm, and codes. If no contribution from the community has yet been given, the description is the one extracted initially from Wikipedia. For the algorithms added via the “Add Algorithm” feature, this description is provided by the community of AlgPedia users.

Regarding the codes, in AlgPedia an algorithm can have different implementations using the same programming language and can also have implementations in distinct programming languages. AlgPedia has a ranking system on the algorithms and implementations which prioritizes to show the best ranked ones first. Users can also make comments to improve the implementations, ask for help to understand the codes and get answers from the community for their questions.

3.3. Semantic base module

The Semantic base module is responsible for the construction of a RDF and OWL [Welty and McGuinness 2004] dataset from the AlgPedia repository. The semantic base is made available in the initial page, where there is a link to download the AlgPedia's dataset, which comprises all the data on the categories, algorithms, implementations, programming languages and relations among these entities.

The RDF dataset is created by translating the relational database of AlgPedia using DBpedia ontology resources and URI. A simple ontology was defined with the basic elements *Classes* and *Object Properties*. These elements are described in Tables 2 and 3.

class name	description
AUTHOR	individuals who had developed an algorithm
CLASSIFICATION	the algorithm categories extracted from DBPedia. This class has the attributes <i>wikipediaLink</i> and <i>dbpediaLink</i>
ALGORITHM	the names of algorithms extracted from Wikipedia. This class has the attributes <i>description</i> , <i>wikipediaLink</i> and <i>dbpediaLink</i>
PROGRAMMING LANGUAGES	the names of the programming language in which the extracted algorithms are implemented

Table 2. AlgPedia Ontology Classes

object property	description
belongs	describes the relationship between one or more instances of <i>ALGORITHM</i> with one or more instances of <i>CLASSIFICATION</i>
implementation	describes the relationship between one or more instances of <i>ALGORITHM</i> with one or more instances of <i>PROGRAMMING LANGUAGES</i> . This property has the attribute <i>evaluation</i> used to classify the quality of each implementation in AlgPedia;
developer	describes the relationship between one or more instances of <i>AUTHOR</i> with one or more instances of <i>ALGORITHM</i>
developed by	is inverse property of <i>developer</i> .

Table 3. AlgPedia Object Properties

3.4. Evaluation and recommendation module

As AlgPedia is a collaborative knowledge base, most of its data is provided by users. In order to provide a better user experience, we soon noticed that it was necessary to classify the provided implementations according to some quality criteria, and use this criteria to organize the information to be presented to the end user.

A ranking system was implemented in AlgPedia to prioritize the most relevant implementations. The main idea is to rank the implementations from the perspective of a set of users [Andersen et al. 2008]. The ranking schema uses (1) the expertise of the users combined with (2) evaluation scores users can give to an implementation generating (3) a reputation for each one of the different implementations of an algorithm. This reputation is then used to rank the implementations for the same algorithm.

To understand the ranking system, let's first explain how the *user expertise* is estimated. When a user joins AlgPedia, or when a person browsing an AlgPedia page decides to contribute, she is prompted to complete her user profile. The user has then to answer the set of questions that can be seen in Table 4.

	Question	Weight	Answer	Value
1	What is your profile? (<i>Prof</i>)	2	Professor	1
			IT-Professional	0.8
			IT-Student	0.6
			non-IT	0
2	Which university do you study or teach? (<i>Univ</i>)	1	List of Universities	[0.5, 1]
3	Which of these areas below do you have knowledge? (<i>Knowl</i>)	5	List of Know. Areas	{0, 0.5, 1}
4	What programming languages do you know? (<i>ProgLang</i>)	3	List of Prog. Lang.	{0, 0.5, 1}

Table 4. User profile questions

The provided information is used to estimate the users' expertise. Question 1 relates to the user background⁶. Question 2 considers the university where the user studies, works or graduated. We use the classification of the Best Global Universities List for U.S. News⁷ and normalize this ranking to the interval [0.5, 1] where 1 is associated to the best university of the ranking and 0.5 is associated to the universities that do not appear in the list. Note that both questions 1 and 2 have their associated values fixed for each user.

Question 3 (*Knowl*) and Question 4 (*ProgLang*) ask the user for lists of knowledge areas and of programming languages known by her. The values to be associated with this answer in the evaluation system will vary depending on the implementation the user decides to evaluate. The value to be associated depends whether the implementation category overlaps the list of the user knowledge areas (no overlap for value 0, all items overlap for value 1.0, anything in between for value 0.5) for Question 3. For Question 4, it depends if the user does not know any programming language at all (value 0), or more languages but not the one of the implementation (value 0.5) or exactly the language used in the implementation (value 1.0).

As can be seen in Table 4, each question has an associated weight, that with the values defined above, is used to calculate the *expertise* of an user u when she evaluates the implementation i on programming language l of an algorithm a . This is defined as

⁶the set of classes should be extended in the near future

⁷www.usnews.com/education/best-global-universities/rankings

follows:

$$exp(u, a, i_l) = \frac{2 * Prof + 1 * Univ + 5 * Knowl(u, a) + 3 * ProgLang(u, i_l)}{11} \quad (1)$$

Implementations in AlgPedia are shown mainly in the AlgPedia page of the algorithm they implement. When several implementations of an algorithm are available, they are ranked according to their reputation. The reputation of an implementation is obtained through evaluations from the AlgPedia's user community, according to the questions described in table 5. The user has to inform how good she evaluates the speed performance and code readability, and if she was able to compile the code.

Question	Weight	Value
Speed performance ? (<i>Speed</i>)	5	1 (slow) to 5 (fast) or 0 (not compile)
Code readability ? (<i>Read</i>)	4	1 (bad) to 5 (very good) or 0 (not know lang.)
This code compiles? (<i>Compile</i>)	3	0 if does not compile and 1 if compiles

Table 5. Evaluation score questions

The evaluation from user u for implementation i on a programming language l is given by:

$$eval(u, i_l) = \frac{5 * \frac{Speed(u, i_l)}{5} + 4 * \frac{Read(u, i_l)}{5} + 3 * Compile(u, i_l)}{12} \quad (2)$$

A reputation of an implementation is a grade in range 0 to 1. This grade is computed taking into consideration the information from users' profile and also from implementations evaluation score. Given a set of users $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ that evaluated an implementation i on language l of an algorithm a , the reputation of implementation i wrt users U is defined as:

$$rep(i, U) = \frac{\sum_{j=1}^n expertise(u_j, a, i_l) * eval(u_j, i_l)}{\sum_{j=1}^n expertise(u_j, a, i_l)} \quad (3)$$

The reputation of an implementation is the final value used to rank implementations. This ranking is used to show the best implementations first in AlgPedia.

4. Results and Conclusions

In this article we presented the AlgPedia Project, and the web platform that implements it. The first AlgPedia's version released to the public access took place on July 10, 2014 at 4:00pm. In the first two days, AlgPedia got 1397 views of users 229 pages spread over 9 countries⁸. An exact week after the site was released, we got 3,685 sessions of 3,273 users from 81 different countries. Today AlgPedia counts 19,509 sessions of 15,908 users from 133 countries, with an average access of 300 sessions per month in 2016..

⁸We used the data flow analysis tool developed by Google to monitor the number of hits on our website.

AlgPedia's access growth was followed by a good number of positive feedback. Python Weekly⁹ mentioned our platform as an interest project, and InfoWorld Magazine¹⁰ ranked us as one of the top 5 websites to learn a second programming language. AlgPedia was also mentioned other times on Twitter and Facebook by many software developers.

AlgPedia is still an ongoing project (and we expect it to be the case for some years), but we consider that it has fulfilled its role. It is a live, web accessible repository of algorithms and implementations. Today, AlgPedia counts with a community of users who actively add comments and reviews to the implementations, and contribute with evaluations. AlgPedia has thus implemented all the vital features to become a collaborative learning tool, and has reached this status. Besides, AlgPedia is in a technically robust state: the semantic database handles the structured information, the wiki interface handles user contributions and navigation.

Regarding individual knowledge, we have many users actively using AlgPedia: contributing, interacting, and consuming its content. Regarding advancing the knowledge of the community, the AlgPedia Project also has made some contributions: (1) it led to the discovery that no satisfactory ontology relating algorithms, problems and implementations exist, and also (2) that testbeds and benchmarks to evaluate implementations would benefit to have a central repository. We are currently working on extending the AlgPedia ontology to other program ontologies like COPS (Core Ontology of Programs and Software) [Lando et al. 2007] and COS (Core Ontology of Software) [Oberle et al. 2009]. Also, we are considering including testbeds and benchmarks in the the AlgPedia repository (and thus in the ontology). These are the challenges we are facing now.

References

- Aigrain, P. (2003). The individual and the collective in open information communities. In *16th BLED Electronic Commerce Conf.*, pages 9–11.
- Andersen, R., Borgs, C., Chayes, J., Feige, U., Flaxman, A., Kalai, A., Mirrokni, V., and Tennenholtz, M. (2008). Trust-based recommendation systems: an axiomatic approach. In *Proc. of the 17th Int. Conf. on World Wide Web*, pages 199–208. ACM.
- Association, N. E. et al. (2012). Preparing 21st century students for a global society: An educators guide to the four cs.. Retrieved February 21, 2015, from the National Education Association.
- Bacchelli, A., Ponzanelli, L., and Lanza, M. (2012). Harnessing stack overflow for the ide. In *Proc. of the Third Int. Workshop on Recommendation Systems for Soft. Eng.*, RSSE '12, pages 26–30, Piscataway, NJ, USA. IEEE Press.
- Bizer, C., Lehmann, J., Kobilarov, G., Auer, S., Becker, C., Cyganiak, R., and Hellmann, S. (2009). Dbpedia-a crystallization point for the web of data. *Web Semantics: science, services and agents on the world wide web*, 7(3):154–165.
- Blumenfeld, P. C., Marx, R. W., Patrick, H., Krajcik, J., and Soloway, E. (1997). *Teaching for Understanding*, pages 819–878. Springer Netherlands, Dordrecht.

⁹Python Weekly is a free weekly newsletter featuring curated news, articles, new releases, jobs etc related to Python.

¹⁰<http://www.infoworld.com/article/2825055/application-development/5-sites-to-help-developers-make-a-cross-language-leap.html>

- de Castro, T. H. C., de Castro Júnior, A. N., and de Menezes, C. S. (2004). Aprende—um ambiente cooperativo de apoio à aprendizagem de programação. In *Anais do Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*, volume 1, pages 71–79.
- Lando, P., Lapujade, A., Kassel, G., and Furst, F. (2007). Towards a general ontology of computer programs. In *ICSOFT*.
- Lehmann, J., Isele, R., Jakob, M., Jentzsch, A., Kontokostas, D., Mendes, P. N., Hellmann, S., Morsey, M., van Kleef, P., Auer, S., et al. (2015). Dbpedia—a large-scale, multilingual knowledge base extracted from wikipedia. *Semantic Web*, 6(2):167–195.
- Lévy, P. (2001). *Cyberculture*, volume 4. U of Minnesota Press.
- Mamykina, L., Manoim, B., Mittal, M., Hripcsak, G., and Hartmann, B. (2011). Design lessons from the fastest q&a site in the west. In *Proc. of the SIGCHI Conf. on Human Factors in Comp. Sys.*, CHI '11, pages 2857–2866.
- Manning, C. D., Raghavan, P., and Schütze, H. (2008). *Introduction to Information Retrieval*. Cambridge Univ. Press, New York, NY, USA.
- Morsey, M., Lehmann, J., Auer, S., and Ngomo, A.-C. N. (2011). Dbpedia sparql benchmark—performance assessment with real queries on real data. In *The Semantic Web—ISWC 2011*, pages 454–469. Springer.
- Nanz, S. and Furia, C. A. (2015). A comparative study of programming languages in rosetta code. In *Proceedings of the 37th Int. Conf. on Soft. Eng. - Vol. 1*, ICSE '15, pages 778–788, Piscataway, NJ, USA. IEEE Press.
- Oberle, D., Grimm, S., and Staab, S. (2009). An ontology for software. In *Handbook on Ontologies*, pages 383–402.
- Ogilvie, P. and Callan, J. (2003). Combining document representations for known-item search. In *Proceedings of the 26th Annual International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Informaion Retrieval*, SIGIR '03, pages 143–150, New York, NY, USA. ACM.
- Pedaste, M., Mäeots, M., Siiman, L. A., De Jong, T., Van Riesen, S. A., Kamp, E. T., Manoli, C. C., Zacharia, Z. C., and Tsourlidaki, E. (2015). Phases of inquiry-based learning: Definitions and the inquiry cycle. *Educational research review*, 14:47–61.
- Pérez, J., Arenas, M., and Gutierrez, C. (2009). Semantics and complexity of sparql. *ACM Trans. Database Syst.*, 34(3):16:1–16:45.
- Wagner, C. and Prasarnphanich, P. (2007). Innovating Collaborative Content Creation: The Role of Altruism and Wiki Technology. page 18. IEEE Comp. Soc.
- Welty, C. and McGuinness, D. L. (2004). Owl web ontology language guide. *W3C recommendation, W3C (February 2004) <http://www.w3.org/TR/2004/REC-owl-guide-20040210>*.
- Wood, D. F. (2003). Problem based learning. *BMJ: British Medical Journal*, 326(7384):328.
- Xiao, W., Chi, C., and Yang, M. (2007). On-line collaborative software development via wiki. In *Proceedings of the 2007 International Symposium on Wikis, WikiSym '07*, pages 177–183, New York, NY, USA. ACM.

Motivação de Estudantes *Non-Majors* em uma Disciplina de Programação

Bianca L. Santana¹, José Solenir L. Figuerêdo¹, Roberto A. Bittencourt¹

¹ Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada
UEFS – Universidade Estadual de Feira de Santana
Av. Transnordestina, s/n, Novo Horizonte
Feira de Santana – BA, Brasil – 44036-900

{biancasantana.ls,solenir.figueredo}@gmail.com, roberto@uefs.br

Abstract. *Motivation plays an important role in students' learning process, helping them to face difficulties. This study investigates how a teaching approach designed for non-majors, that makes use of the Scratch environment, the Python programming language, the Turtle library and the JES IDE, influences students' motivation. We found that Scratch contributed to students' motivation, but JES did not show the same performance. In addition, we use a model to derive a set of variables that may trigger, maintain, or decrease motivation.*

Resumo. *A motivação tem um papel importante no processo de aprendizagem dos estudantes, podendo ajudá-los a enfrentar dificuldades. Neste estudo, investigamos como uma abordagem de ensino de programação para non-majors, que faz uso do ambiente Scratch, da linguagem de programação Python com a biblioteca Turtle e com o ambiente de desenvolvimento JES, influencia na motivação dos estudantes. Verificamos que o Scratch contribuiu para a motivação dos estudantes, enquanto que o JES não mostrou o mesmo desempenho. Além disso, destacamos, a partir de um modelo de motivação, um conjunto de variáveis que podem despertar, manter ou diminuir a motivação.*

1. Introdução

Programar computadores é uma competência complexa de se aprender por envolver uma variedade de conhecimentos, estratégias e modelos nos diferentes níveis de domínio do problema, do design de solução e do programa propriamente dito [Robins et al. 2003]. Neste contexto, disciplinas de introdução à programação geralmente apresentam altos índices de abandono e reprovação [Watson and Li 2014].

Muitas iniciativas já foram propostas para resolver este problema, alterando currículo, a pedagogia, linguagens de programação e usando ferramentas específicas para apoiar a aprendizagem [Pears et al. 2007]. Apesar disso, estudos evidenciam que as taxas não têm melhorado significativamente ao longo do tempo [Watson and Li 2014]. O insucesso é influenciado por diferentes aspectos, como linguagem utilizada, país, nível escolar, tamanho das turmas e motivação. A motivação afeta, direta ou indiretamente, o desempenho do estudante, com consequências explícitas no processo de aprendizagem. Assim, entender os fatores que estimulam a motivação dos estudantes mostra-se essencial para potencializar o sucesso de cursos de programação.

Disciplinas de introdução a programação, rotineiramente chamadas de CS1 (Computer Science 1) na literatura, costumam fazer parte das matrizes curriculares de cursos de graduação fora da área de TI, principalmente nas ciências exatas e tecnológicas. Adotamos aqui o termo inglês *non-majors* para identificar os estudantes que cursam uma disciplina (neste caso, CS1) de uma área diferente da que se graduam. Ensinar programação para *non-majors* costuma ser ainda mais difícil do que para estudantes de TI, pois os *non-majors* raramente possuem motivação intrínseca para programar.

Entendemos que as disciplinas de introdução a programação ofertadas para *non-majors* podem ser adaptadas para melhor atender este público. Neste sentido, muitos trabalhos já foram desenvolvidos, reformulando currículo, pedagogia, linguagem ou ferramentas para apoiar a prática e a aprendizagem. Várias iniciativas buscam potencializar a motivação e comprometimento dos estudantes [Forte and Guzdial 2005], como cursos focados na habilidade de resolução de problemas, contextualizados para a área do estudante, utilizando as linguagens Logo e Python, utilizando ferramentas como Scratch e Greenfoot, ou utilizando mídias e a ferramenta *Jython Environment for Students* (JES).

A motivação já vem sendo apontada como um fator importante na aprendizagem há algum tempo. Muitos trabalhos buscam traçar estratégias motivacionais que possam ser usadas pelos professores para fortalecer o desempenho dos estudantes e reforçar atitudes positivas em relação à aprendizagem. A maioria dos psicólogos e educadores usa a motivação como um termo para descrever aqueles processos que podem (a) despertar e instigar o comportamento; (b) dar direção e propósito ao comportamento; (c) continuar a permitir que o comportamento persista; e (d) levar a escolher ou preferir um determinado comportamento [Wlodkowski 1978]. Segundo Jenkins (2001), a motivação pode ser dividida em quatro categorias principais: a extrínseca, a intrínseca, a social e a competitiva.

Compreendendo a importância da motivação, percebe-se que a abordagem empregada pode contribuir para o aumento ou diminuição da motivação dos estudantes [Jenkins 2001]. Para melhor atuar sobre as diversas dimensões da motivação, Keller (1987), criou o modelo ARCS (Atenção, Relevância, Confiança e Satisfação), que inclui um conjunto de estratégias utilizadas para aumentar o apelo motivacional de materiais instrucionais. O ARCS é fundamentado na teoria *expectativa* versus *valor*. A expectativa está ligada à satisfação das necessidades pessoais, enquanto o valor representa a razão pela qual um estudante valoriza o sucesso. O modelo ARCS pode ser utilizado no planejamento de materiais instrucionais de uma disciplina, embora isso não garanta ausência de problemas motivacionais. Visando identificar estes problemas, Keller (1993) projetou um instrumento de medição denominado *Instructional Material Motivation Survey* (IMMS). Este instrumento consta de 36 declarações sobre o material, gerados a partir das categorias definidas pelo ARCS. Para utilizar o IMMS para avaliar motivação, é necessário adaptá-lo à situação da aplicação.

Este trabalho investiga como uma abordagem de ensino-aprendizagem de programação para *non-majors*, que faz uso do ambiente Scratch, da linguagem de programação Python e do ambiente de desenvolvimento JES, influencia na motivação dos estudantes. A avaliação é realizada a partir de um questionário adaptado do IMMS ao contexto da abordagem, além de uma avaliação qualitativa. O cenário estudado foi uma turma de Introdução a Ciência da Computação (ICC) para calouros de um curso de engenharia Civil.

2. Trabalhos Relacionados

Jenkins (2001) apresenta um trabalho seminal sobre motivação no processo de aprendizagem de programação, evidenciando o papel de um professor como um motivador. Ele categoriza os tipos de motivação existentes e fornece diretrizes que podem contribuir em seu aumento ou diminuição. Um outro trabalho avalia a motivação de estudantes a partir da experiência vivenciada no Georgia Tech, em Atlanta, onde todos os estudantes cursam uma disciplina de CS1 [Forte and Guzdial 2005]. Os cursos de CS1 foram ofertados em três modalidades diferentes, donde duas foram adaptações para *non-majors*. Os autores avaliaram a motivação e perceberam que os *non-majors* aproveitaram mais os cursos adaptados, fazendo uso das habilidades aprendidas fora da sala de aula.

Em muitas situações, aprender a programar requer o desenvolvimento de um conjunto de habilidades e competências aprendidas com a prática. Todavia, para que os estudantes sustentem uma rotina de esforço prático, é necessário que estejam adequadamente motivados. Pensando nisso, um trabalho procurou identificar os problemas de motivação de programação entre estudantes de engenharia [Yacob and Saman 2012]. Os autores verificaram que a “direção clara” e a “punição” são os fatores que mais motivaram os estudantes naquela instituição. Em outro trabalho, investiga-se o papel da ferramenta *Scratch* como elemento motivador [Salazar et al. 2015]. O estudo foi aplicado com 22 alunos de um curso de Bacharelado em Sistemas de Informação. Verificou-se que o *Scratch* não é suficiente para aprendizagem de programação em disciplinas de graduação, mas a sua utilização na introdução de conceitos iniciais em conjunto com linguagens de programação tradicionais pode aumentar a motivação dos alunos. Um outro trabalho analisa os jogos como meio de gerar motivação, propondo diretrizes para auxiliar docentes na escolha adequada de jogos para o ensino de programação baseada nas técnicas de engajamento e perfis de jogadores [da Silva et al. 2014]. Os autores forneceram um conjunto de observações que auxiliam os professores na escolha dos jogos. Outro estudo apresenta uma investigação sobre a motivação e o uso de estratégias de aprendizagem, por meio de um estudo de caso com estudantes de um curso de Licenciatura em Computação em disciplinas de programação [Peixoto et al. 2013].

Observando as diretrizes do modelo ARCS, Hamada (2008) introduz um ambiente integrado web para ensino de teoria da computação, levando em conta as preferências de aprendizagem ativa e colaborativa de estudantes de Engenharia de Computação.

3. Metodologia

O presente trabalho foi orientado a partir dos métodos mistos, utilizando uma estratégia concomitante. Os métodos mistos combinam os métodos predeterminados das pesquisas quantitativas com métodos emergentes das qualitativas [Creswell 2010]. O estudo foi realizado com uma turma da disciplina de Introdução a Ciência da computação (ICC) do curso de Engenharia Civil de nossa universidade, ao longo do semestre letivo 2016.1. Escolhemos este curso por oferecer a disciplina no primeiro semestre, para os calouros.

3.1. Participantes

A turma teve 40 alunos, todos estudantes calouros de Engenharia Civil. Antes de iniciar a pesquisa, elaboramos um termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE), descrevendo justificativas, objetivos e possíveis riscos e benefícios ao participar do estudo, além

de garantir o anonimato dos participantes. Após lerem o TCLE, restaram 36 participantes, sendo 27 do sexo masculino e 9 do feminino.

3.2. Organização da disciplina

A disciplina de ICC tem carga horária de 60 horas, divididas entre 30 horas práticas e 30 teóricas. Duas turmas práticas de 20 alunos são apoiadas pelo professor e por um monitor. A disciplina foi dividida em três unidades, cada uma com uma ferramenta diferente. Na Tabela 1, é sintetizada a organização da disciplina. A utilização de jogos e mídias procurou oferecer um contexto mais adequado e significativo, dado o perfil dos estudantes: entre 17 e 19 anos, uso de redes sociais por meio de dispositivos móveis e afinidade por jogos.

Tabela 1. Descrição Geral da disciplina de ICC

Disciplina de Introdução a Ciência da Computação	
Unidade I	Conceitos básicos com a ferramenta Scratch.
Unidade II	Programação em <i>Python</i> com a biblioteca <i>Turtle</i> .
Unidade III	Programação em <i>Python</i> com mídias através do ambiente de desenvolvimento JES.
Local	Sala de aula e laboratório de informática.
Participantes	36 estudantes de Engenharia Civil da UEFS e 4 professores.
Monitores	Um estudante de Engenharia da computação.
Período	Segundo semestre de 2016.
Carga horária	60 horas (30 horas de aula teórica e 30 horas de aula prática).

3.3. Coleta e análise de dados

Como instrumentos qualitativos, realizamos observações das aulas teóricas e das práticas laboratoriais, bem como entrevistas semiestruturadas com alguns participantes. Ao longo da pesquisa foram realizadas duas entrevistas, sendo que o guia da segunda entrevista observou as quatro dimensões definidas pelo modelo ARCS. Em relação aos instrumentos quantitativos, fizemos uso de três questionários. Dois destes possibilitaram inferir percepções sobre motivação, tendo sido elaborados a partir dos construtos do IMMS.

Na análise dos questionários, tabulamos dados e geramos estatísticas descritivas e inferenciais, evidenciando características importantes no tocante à motivação. Em contrapartida, com os dados qualitativos das observações e entrevistas, fizemos uma análise descritiva, por meio do processo de codificação, gerando memorandos e descrição de categorias, as quais foram utilizadas para conceber uma classificação de condições que despertam, mantêm ou diminuem a motivação.

4. Resultados

Agrupamos os resultados dos questionários a partir dos conceitos do ARCS de atenção, relevância, confiança e satisfação e os apresentamos a seguir.

Na Figura 1, observamos a representatividade da categoria Atenção relacionada à unidade I, com o *Scratch*. Por exemplo, a variedade de exercícios e ilustrações ajudou a manter a atenção (A1, concordância parcial ou total de 72%); *Scratch* estimulou a criatividade (A4, concordância de 64%); os estudantes concordaram que aprenderam coisas surpreendentes ou inesperadas (A2, 59%). O design do ambiente não desagradou aos estudantes (A8, discordância parcial ou total de 66%). O fato de a abordagem com *Scratch* captar a atenção dos alunos é de grande importância, já que atenção é um elemento de



Figura 1. Avaliação da atenção utilizando o ambiente Scratch

motivação e um pré-requisito para aprendizagem [Keller 1987]. Por outro lado, os resultados preliminares na unidade III com o uso do ambiente JES não foram tão positivos. Por exemplo, a variedade de exercícios não ajudou a manter a atenção (A1, concordância de 26% e discordância de 43%); mais da metade dos alunos concordaram que muitas repetições sobre alguns conteúdos os levaram ao tédio, às vezes (A3, 52%). As figuras com os resultados da unidade III com o JES não são apresentadas aqui por limitações de espaço.

Na Figura 2, analisamos a categoria Relevância na unidade I com a ferramenta *Scratch*. Os estudantes perceberam uma relação entre o conteúdo do *Scratch* e o seu cotidiano (R2, concordância de 61%); completar as atividades com sucesso foi importante para os estudantes (R6, concordância de 72%); e os participantes concordaram o potencial do *Scratch* para aprender programação (R7, 72%). Por outro lado, os estudantes não acharam o *Scratch* significativo para seus interesses (R5, concordância de 9%). Para avaliar a relevância da ferramenta JES, elaboramos declarações semelhantes. No entanto, ao verificarmos os resultados, notou-se que a percepção de relevância dos estudantes não foi tão expressiva, se comparada aos resultados do *Scratch*. Por exemplo, os estudantes não acharam os conteúdos com mídia úteis (R1, concordância de 24%); a relação do conteúdo da terceira unidade com conhecimento prévio também não ficou clara para os estudantes (R2, 47% de discordância). Entretanto, uma quantidade significativa de estudantes concordou que terminar o projeto com sucesso foi importante (R3, concordância de 51% e discordância de 12%).

Na Figura 3, exibimos os resultados para a categoria Confiança, referente à unidade I com *Scratch*. O resultado sugere que a ferramenta *Scratch* despertou a confiança dos estudantes. Por exemplo, os estudantes concordaram que o *Scratch* proporcionou confiança para aprender o conteúdo (C1, 66%); as aulas introdutórias ajudaram os participantes a compreender o que eles aprenderiam a partir do *Scratch* (C2, concordância de 63%); os alunos discordaram de que os exercícios do *Scratch* foram difíceis (C6, discordância de 66%); o *Scratch* não foi difícil de entender (C4, discordância de 71%). Com relação à avaliação dessa categoria utilizando a ferramenta JES, os resultados iniciais não foram tão positivos, evidenciando que essa ferramenta, em particular, não contribuiu sobremaneira para a confiança dos estudantes. Por exemplo, os estudantes acharam os exercícios difíceis (C3, concordância de 82%); o número de informações em algumas

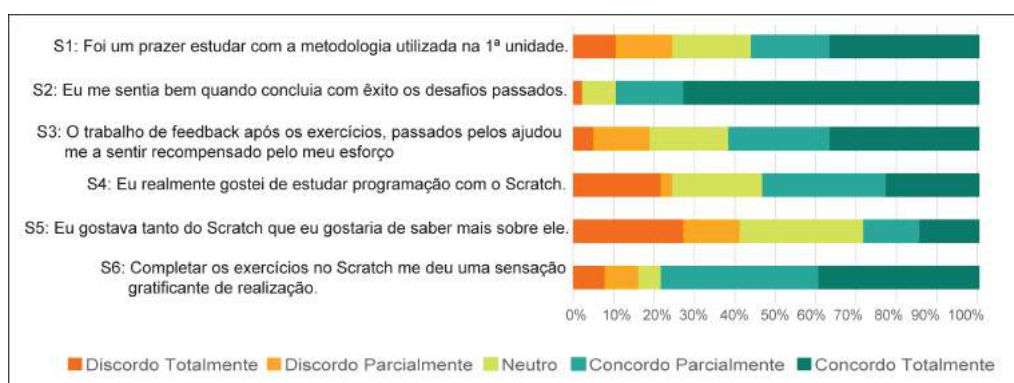


Figura 2. Avaliação da relevância utilizando o ambiente Scratch

aulas atrapalhou no entendimento e na escolha dos pontos principais (C5, concordância de 83%); muitos estudantes discordaram que as aulas introdutórias ajudaram-lhes a sentir confiança sobre o conteúdo a ser aprendido (C6, discordância de 57%). Apesar disso, os estudantes discordaram de não haver entendido o conteúdo das aulas (C7, 60%).

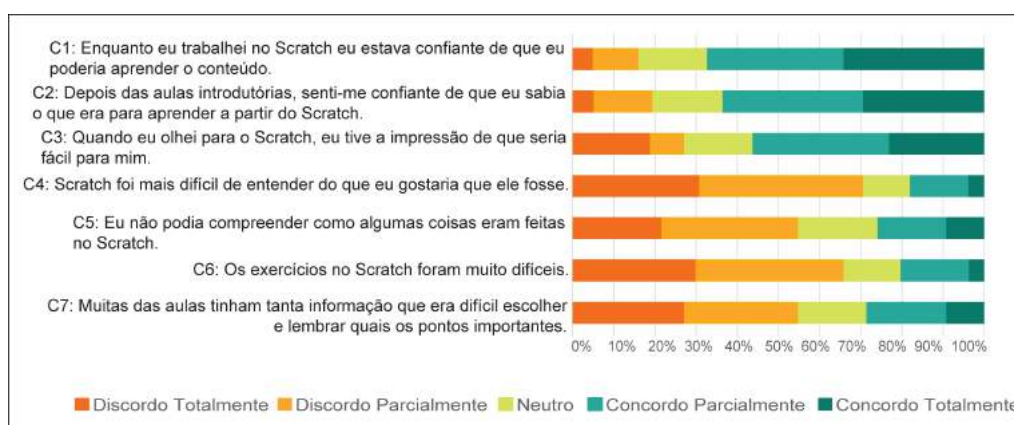


Figura 3. Avaliação da confiança utilizando o ambiente Scratch

Na Figura 4, exibimos o resultado para a categoria Satisfação ao empregarmos o *Scratch*. Tivemos evidência de um nível convincente de satisfação, sobretudo em determinadas declarações. Por exemplo, os estudantes concordaram que se sentiam bem ao terminar um desafio com êxito (S2, 89%); completar os exercícios proporcionou uma sensação gratificante de realização (S6, concordância de 78%). No entanto, apesar de o *Scratch* proporcionar satisfação, uma grande parte dos estudantes discordou de desejar e saber mais sobre ele (S5, discordância de 42%). Com o JES, a avaliação da satisfação teve alguns resultados positivos. Por exemplo, os estudantes concordaram que a conclusão dos desafios fez eles se sentirem bem (S2, 60%); completar o projeto deu uma sensação gratificante de realização (S6, concordância de 56%). Todavia, uma grande parte dos estudantes discordou de ter gostado de estudar manipulação de imagens (S4, discordância de 40%) e também discordaram de que gostariam saber mais sobre imagens e outras mídias (S5, 74%). Com a análise dos resultados da satisfação, em especial, nota-se que apesar de os estudantes não terem gostado muito de trabalhar com imagens, a conclusão das atividades com êxito proporcionou grande satisfação.

A partir dos dados qualitativos coletados por meio das entrevistas e observações, fizemos uma análise, buscando encontrar variáveis relacionadas a estratégias motivacionais, classificadas a partir do modelo definido na Figura 5, ou seja, buscando classificar em fatores que despertam, que mantêm ou que diminuem a motivação.

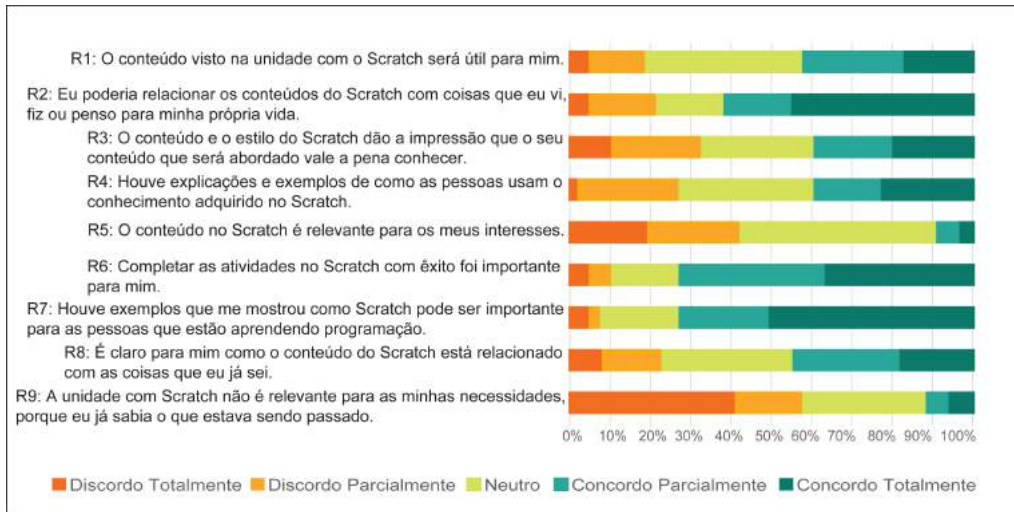


Figura 4. Avaliação da satisfação utilizando o ambiente Scratch

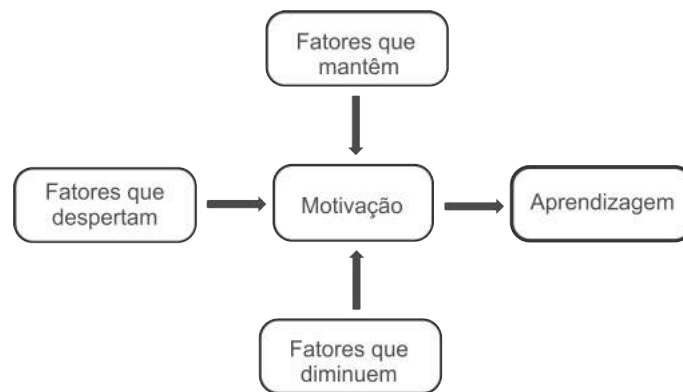


Figura 5. Modelo de classificação das variáveis motivacionais

Na Tabela 2, listamos as estratégias motivacionais encontradas no decorrer das aulas. Em nosso contexto (ensino de programação), além de encontramos evidências de estratégias selecionadas por Guilloteaux e Dörnyei(2008) , encontramos outros fatores relacionados a motivação, que não estão ligados necessariamente à prática do professor, mas à própria abordagem empregada na disciplina. Além disso, muitos fatores que despertaram a motivação também ajudaram a mantê-la.

5. Discussão

Percebemos, a partir da abordagem de ensino utilizada, um conjunto de variáveis que podem influenciar positivamente ou negativamente na motivação dos estudantes. Como possíveis variáveis que despertam ou mantêm a motivação, no contexto de ensino de

Tabela 2. Variáveis motivacionais identificadas

Despertam a Motivação	Mantêm a Motivação	Diminuem a Motivação
-Aula prática de programação; -Experiência anterior com o conteúdo; -Utilizar Jogos; -Aula interativa; -Incentivar o aluno a chegar a resposta sem entregar a resposta de imediato; -Influência familiar; -Percepção da utilidade do assunto; -Gostar de aprender -Atividades com objetivos bem definidos; -Despertar a curiosidade; -Estimular autonomia;	-Aula prática de programação; -Exercícios valendo nota -Compreensão do assunto; -Estudar conteúdo antes da aula; -Construir os exemplos passo a passo; -Concluir exercícios com êxito; -Utilizar desafios nos exercícios; -Utilizar Jogos; - <i>Scaffolding</i> ou apoio, seja de material ou por monitoria; -Conteúdo ligado ao contexto do estudante; -Programação individual; -Feedback neutro; -Feedback do processo; -Elogio eficaz; -Incentivar a auto ou correção em pares;	-Aula começando com certo atraso; -Didática do professor; -Exercícios de programação feitos em caderno; -Idioma estrangeiro; -Mudança brusca de um assunto considerado fácil para um mais avançado; -Não concluir exercício com êxito; -Professor desencorajando quando de assuntos “difíceis”; -Problemas da estrutura física do laboratório; -Sintaxe complicada;

programação, destacamos o *feedback* neutro e de processo, a utilização de jogos, a existência de *scaffolding*, a importância das aulas práticas, a promoção da autonomia, exercícios utilizando uma escala gradual de dificuldade e êxito na conclusão dos exercícios. No que concerne às variáveis que diminuem a motivação, evidenciamos a não conclusão de uma atividade, a didática do professor, exercícios de programação feitos no caderno, idioma estrangeiro e mudança brusca da dificuldade de um assunto.

O Scratch e o Python com mídias apresentaram diferentes impactos na motivação. De maneira geral, a primeira unidade obteve avaliações mais positivas que as seguintes.

Scratch

A escolha do Scratch para a primeira unidade objetivou promover uma introdução mais branda aos conceitos iniciais de programação e potencializar a motivação dos estudantes. Conforme identificado nos dados, a ferramenta exerceu de fato este papel. O Scratch possui um design agradável e o modo como o conteúdo está disposto e foi abordado contribuiu para o aumento da atenção dos estudantes. Além disso, a utilização do Scratch num contexto de criação de jogos estimula a criatividade, o que também ajudou a manter a atenção dos estudantes.

O fato de os estudantes não se sentirem sobrecarregados, nem com dificuldades para realizar as atividades com Scratch, tornou os conceitos iniciais acessíveis. Ao minimizar as dificuldades, a confiança é potencializada. Quanto mais confiante, maior é a persistência e a expectativa de sucesso e, conseqüentemente, maior é o empenho dos estudantes nas atividades, percepção reforçada nas observações e entrevistas, que indicam que Scratch proporcionou um *scaffolding* benéfico para a manutenção da motivação.

Por outro lado, o Scratch não passou a sensação de utilidade prática na vida dos estudantes, o que diminui sua relevância percebida (como na típica pergunta: “Porque eu tenho que estudar isso?”, o que é reforçado pelos construtos R1, R3 e R5). Mas, segundo Keller (1987), a sensação de relevância pode vir do modo de ensinar, satisfazendo certas necessidades pessoais, como dar a pessoas com “necessidade de realização” a oportunidade de estabelecer metas e assumir a responsabilidade de alcançá-las. Neste sentido, Scratch foi positivo, considerando os construtos R6 e R7.

A satisfação está relacionada com as demais categorias, principalmente com a

relevância percebida. As práticas de ensino devem contribuir para que os estudantes se sintam bem com suas realizações, como ao finalizar as atividades com êxito (R6).

Python + JES

A utilização de Python no contexto de mídias, apoiado pela ferramenta JES, também foi pensada para oferecer um contexto mais motivador, mais próximo da realidade dos jovens. No entanto, os resultados dos construtos de atenção e confiança levam a crer que, embora as primeiras aulas tenham sido interessantes e mantido a atenção dos estudantes, os conceitos não foram de fácil compreensão. Além disso, a maioria dos estudantes avaliaram negativamente a organização do conteúdo e a quantidade de conceitos abordados, o que leva a crer que houve uma transição brusca na complexidade do conteúdo, contribuindo para diminuir a motivação.

A relevância percebida em termos de utilidade prática foi baixa, o que, de certa forma, era esperado, já que a escolha da ferramenta e definição da abordagem consideraram a relevância em termos de “necessidade pessoal”. Mas isto também não foi percebido pelos estudantes, já que a maioria deles não conseguiu relacionar o material visto com sua vida ou com conhecimentos prévios.

A maioria dos estudantes não concordaram que o JES é uma ferramenta que auxilia os novatos em programação. No entanto, consideraram importante finalizar as atividades e, em sua maioria, se sentiram bem ao completar as atividades com êxito, o que gerou percepções contraditórias sobre satisfação.

Alguns fatores externos podem ter influenciado os resultados para a terceira unidade. Uma das possíveis causas foi o desgaste sofrido devido a uma greve estudantil na unidade que o JES foi utilizado, provocando uma sensação de descontinuidade. Um outro aspecto que pode ter influenciado foi o idioma da ferramenta. Finalmente, houve mudança de professor da turma teórica na terceira unidade, o que pode também ter comprometido o processo pedagógico. Mas apesar da avaliação negativa, nenhum estudante abandonou a disciplina na terceira unidade.

6. Conclusão

Este artigo apresenta os resultados de um estudo que analisa a motivação de estudantes *non-majors* calouros que cursaram uma disciplina de Introdução a Ciência da Computação, utilizando uma abordagem adaptada para este fim, com o ambiente *Scratch* e com a linguagem *Python* combinada com desenho de figuras e manipulação de imagens.

Os resultados mostram que o ambiente *Scratch* pode proporcionar o aumento da motivação dos estudantes, contribuindo para seu aprendizado, realçando seu potencial para ensinar os conceitos iniciais de programação. Todavia, com a ferramenta JES no contexto de imagens, os resultados preliminares são diferentes, sugerindo que o JES não conseguiu motivar os estudantes satisfatoriamente. Este resultado pode ser devido ao ambiente, ou pode ser fruto de um conjunto de complicações ocorridos na terceira unidade da disciplina, o que demanda uma investigação adicional posterior.

Outros resultados apontam para um conjunto de variáveis que podem influenciar diretamente na motivação, contribuindo para despertá-la, mantê-la ou diminuí-la, conforme apresentado em detalhes na discussão. Estes resultados são relevantes, pois fornecem indicativos de estratégias que professores podem utilizar na promoção da motivação,

ou mesmo para evitar a sua diminuição.

Pretendemos, em breve, realizar um outro estudo com *non-majors*, utilizando uma versão melhorada da abordagem, bem como instrumentos de coleta de dados revisados.

Referências

- Creswell, J. W. (2010). Projeto de pesquisa métodos qualitativo, quantitativo e misto. In *Projeto de pesquisa métodos qualitativo, quantitativo e misto*. Artmed.
- da Silva, T. S. C., Tedesco, P., and de Melo, J. C. B. (2014). A importância da motivação dos estudantes e o uso de técnicas de engajamento para apoiar a escolha de jogos no ensino de programação. In *Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*.
- Forte, A. and Guzdial, M. (2005). Motivation and nonmajors in computer science: identifying discrete audiences for introductory courses. *IEEE Transactions on Education*, 48(2):248–253.
- Guilloteaux, M. J. and Dörnyei, Z. (2008). Motivating language learners: A classroom-oriented investigation of the effects of motivational strategies on student motivation. *TESOL quarterly*, pages 55–77.
- Hamada, M. (2008). An integrated virtual environment for active and collaborative e-learning in theory of computation. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 1(2):117–130.
- Jenkins, T. (2001). Teaching programming—a journey from teacher to motivator. In *The 2nd Annual Conference of the LSTN Center for Information and Computer Science*.
- Keller, J. M. (1987). Development and use of the ARCS model of instructional design. *Journal of instructional development*, 10(3):2–10.
- Keller, J. M. (1993). Motivation by design. *Unpublished manuscript, Florida State University, Florida*.
- Pears, A., Seidman, S., Malmi, L., Mannila, L., Adams, E., Bennedsen, J., Devlin, M., and Paterson, J. (2007). A Survey of Literature on the Teaching of Introductory Programming. In *ITiCSE-WGR '07*, pages 204–223, New York, NY, USA. ACM.
- Peixoto, M. M., Scaico, P., Souza, F. V. C., and Peixoto, H. M. (2013). Uso de Estratégias de Aprendizagem e Motivacionais pelos Alunos em Disciplinas de Programação: Um Estudo de Caso na Licenciatura em Computação. In *Anais do CSBC - XXI WEI*.
- Robins, A., Rountree, J., and Rountree, N. (2003). Learning and teaching programming: A review and discussion. *Computer Science Education*, 13(2):137–172.
- Salazar, R., Odakura, V., and Barvinski, C. (2015). Scratch no ensino superior: motivação. In *Simpósio Brasileiro de Informática na Educação-SBIE*, page 1293.
- Watson, C. and Li, F. W. B. (2014). Failure Rates in Introductory Programming Revisited. In *Proceedings of the ITiCSE 2014*, pages 39–44, New York, NY, USA. ACM.
- Wlodkowski, R. J. (1978). *Motivation and teaching: A practical guide*. ERIC.
- Yacob, A. and Saman, M. Y. M. (2012). Assessing level of motivation in learning programming among engineering students. In *The International Conference on Informatics and Applications (ICIA2012)*, pages 425–432.

Game Logic: Um jogo para auxiliar na aprendizagem de lógica de programação.

Dorgival Netto¹, Luiz Mario Medeiros², Daniel de Pontes², Edilson de Moraes²

¹Instituto Federal do Mato Grosso do Sul (IFMS) – Campus Corumbá-MS

²Faculdade Maurício de Nassau - João Pessoa – PB

dorgival.silva@ifms.edu.br, luiz.nativo@hotmail.com, {daniel.queiros789, edilsonmoraes16}@gmail.com

Abstract. *The difficulty of structuring cognitive thinking together with the inherent resistance of algorithmic learning and its basic structure of construction affects a large part of the students of higher courses in the areas of exact as well as the students of other levels of instruction. For this process, this article presents Game Logic, a game focused on teaching-learning block algorithms, based on the cognitive principle that images are better memorized and their use is duly proven.*

Resumo. *A dificuldade de estruturação do pensamento cognitivo aliado à resistência implícita do aprendizado de algoritmos e sua estrutura básica de construção acomete grande parte dos alunos de cursos superiores nas áreas de exatas como também estudantes de outros níveis de instrução. Para auxiliar neste processo, este artigo apresenta o Game Logic, um jogo voltado para o ensino-aprendizado de algoritmos através da programação em blocos, partindo do princípio cognitivo de que imagens são melhor memorizadas tendo seu uso devidamente comprovado.*

1. Introdução

Em um ambiente onde a interação entre homem e computador torna-se cada vez mais intrínseca, o estudo de seu funcionamento e também o desenvolvimento de ferramentas para estas máquinas já não é mais uma tarefa reservada a programadores apenas, nem empresas do seguimento. Com um número cada vez maior de pessoas que estão iniciando seu estudo de programação, o desenvolvimento de ferramentas que se utilizem do pseudocódigo para a facilitação e compreensão de algoritmos, independente da linguagem de programação a ser adotada futuramente pelo estudante, tem maior demanda e utilidade social, incluindo-o em ambientes outrora restritos a uma pequena classe de pessoas.

As disciplinas introdutórias à programação nos cursos das áreas de Ciência da Computação são extremamente importantes para o desenvolvimento do estudante no decorrer do curso. Pois apresentam aos alunos uma base fundamental para o desenvolvimento em qualquer linguagem. A lógica de programação deve ser compreendida tomando-se por base fundamental que a máquina entende códigos de

maneira estruturada e que a declaração dos comandos a serem executados é crucial para a resolução do problema ao qual o algoritmo dispõe-se a resolver.

O processo de ensino e aprendizagem de lógica de programação é desafiador, apesar dos numerosos esforços de pesquisa para melhorar esse processo [Neves & Coello, 2006] [Costa et al., 2010], devido a capacidade de abstração e aos conceitos lógicos-matemáticos que esta disciplina exige.

O provimento de métodos educacionais cada vez mais lúdicos e inovadores são inseridos no contexto educacional. Segundo Falkembach (2006) toda a atividade que incorporar a ludicidade pode se tornar um recurso facilitador do processo de ensino e aprendizagem. Muitos artigos têm sido publicados abordando o uso de jogos no processo de ensino-aprendizagem como, por exemplo, ProGame [Dantas et al. 2011], Takkou [Barbosa; Fernandes; Campos 2011] e KLouro [Silva e Dantas, 2014]. Estes jogos apresentam os conceitos de lógica de programação no nível de algoritmo. Os desafios consistem em um nível mais avançado ou relacionados a uma linguagem de programação específica como Python, por exemplo.

No processo de elaboração dos jogos educacionais é muito importante que sejam seguidos os princípios de *game design* [Crawford 1982]. Por se tratar de um jogo educacional, aspectos pedagógicos também foram levados em consideração. Assim utilizamos conceitos de *game-based learning* (GBL) [Prensky 2003]. Aprendizagem Baseada em Jogos ou GBL, segundo Tang, Hanneghan e El-Rhalibi (2009), faz referência a uma abordagem de aprendizagem inovadora derivada do uso de jogos de computador que possui valor educacional ou diferentes tipos de aplicações de software que usam jogos computacionais para ensino e educação, GBL tem como finalidade o apoio à aprendizagem, a avaliação e análise de alunos e melhoria do ensino.

Levando em conta os diferentes aspectos inerentes a tal problema, este artigo descreve o Game Logic, um jogo desenvolvido para dispositivos móveis Android, baseado nos princípios do *game design*, que usa programação em blocos na forma de fluxogramas para auxílio ao processo de ensino a aprendizagem de lógica de programação através da resolução de desafios lógicos relacionados a instruções sequenciais. Os desafios são colocados frente ao jogador de forma simples, inicialmente e, sendo intensificados ao serem vencidos. Gradualmente, mais blocos de comandos são liberados para uso na resolução dos problemas.

O presente artigo encontra-se dividido em sete seções. Após o apontamento das motivações, a seção 2 descreve o uso dos jogos educacionais, *game design* e gamificação. Na seção 3 são apresentados de alguns softwares e sites relacionados ao aprendizado de algoritmos. A seção 4 trata da proposta do Game Logic. A seção 5 mostra a avaliação do jogo proposto. Por fim, na seção 6 são apresentadas as considerações e os trabalhos futuros.

2. Fundamentação Teórica

2.1. O uso de jogos educacionais

A tecnologia em suas diferentes apresentações vem contribuindo significativamente para o bem-estar social como um todo. O potencial pedagógico dos games vem sendo cada vez mais explorado na educação e hoje são considerados importantes ferramentas no processo de aprendizagem [Moraes, 2009]. Embora possam ser similares a vários

outros gêneros de jogos, o seu diferencial é a ênfase no aprendizado, pois são especificamente projetados para ensinar as pessoas algum assunto, expandir conceitos, reforçar o desenvolvimento ou auxiliar o entendimento à medida que a brincadeira evolui, afirma Cupersmid (2008).

O uso e efetividade dos jogos para fins educativos vêm sendo objeto de pesquisa de muitos estudiosos e, como afirma Moratori (2003), os jogos educativos computadorizados são atividades inovadoras onde as características do processo de ensino-aprendizagem apoiado no computador e as estratégias de jogo são integradas a fim de alcançar um objetivo educacional determinado.

A aprendizagem de forma prazerosa é tangível, através do emprego dos métodos corretos, tomando como base aspectos como cultura, idade, grau de instrução dentre outros fatores e pode gerar resultados relevantes, tornando o processo imensamente produtivo. Deve-se considerar veementemente que a concepção da arquitetura do jogo deve ser voltada para o aprendizado involuntário, conforme aponta Johan Huizinga:

No jogo há beleza, harmonia, ritmo, que inspiram fascínio, tensão, alegria e divertimento, mas há também ordem e as regras estabelecidas devem ser seguidas por todos. Uma vez quebradas as regras, destrói-se a ilusão do jogo. [Huizinga, 1998, p.14].

Sendo assim, Moratori (2003) aponta que uma vez estabelecido e obedecido o sistema de um jogo, aprender pode tornar-se tão divertido quanto brincar e, nesse caso, aprender torna-se interessante para o aluno e passa a fazer parte de sua lista de preferências.

2.2 *Game design* e gamificação

Schell (2008) define *game design* como o ato de decidir o que um jogo deveria ser. Brathwaite (2009), amplia esta definição afirmando que *game design* é o processo de criar a disputa e as regras de um jogo. Para um bom *game design* é preciso criar objetivos os quais o jogador sinta-se motivado a alcançar e regras que o jogador precisa seguir ao fazer escolhas significativas em prol desses objetivos. De acordo com Dicheva et. al. (2015), os princípios de *game design* cuja aplicação é mais bem-sucedida em sala de aula são: status visível, engajamento social, *feedback* instantâneo e liberdade de escolha.

A Gamificação (do inglês, *gamification*) da aprendizagem e instrução é descrita em Kapp (2012) como aqueles métodos e estratégias baseadas em jogos para a formação e a educação. Ou seja, o uso de jogos como mecanismo para fazer da aprendizagem ou instrução mais divertida e mais profunda. *Gamification* está relacionada com a ideia de engajamento, narrativas, autonomia e significado. A gamificação corresponde ao uso de mecanismos de jogos orientados ao objetivo de resolver problemas práticos ou de despertar engajamento entre um público específico [Vianna et al, 2003, p.13]

A mecânica de um sistema gamificado é composta de ferramentas que, quando utilizadas corretamente, prometem um retorno significativo dos usuários [Zichermann e Cunningham, 2011]. As principais técnicas utilizadas para a gamificação são:

- **Pontos** - Os pontos podem ser capturados pela experiência ou pela habilidade. **Pontos de experiência (XP)** é o mais importante sistema de pontos, não serve como moeda de troca no sistema, todas as ações do jogador geram XP e uma vez adquirido ele não os perde. O objetivo principal é observar, classificar e guiar o

usuário sobre o seu comportamento. **Pontos de habilidade (*skill*)** são atribuídos a tarefas específicas, que não estão relacionados às atividades principais do sistema. O usuário pode optar por realizá-las ou não, e são um conjunto bônus de pontos que permitem que o usuário ganhe experiência ou recompensas pela realização.

- **Níveis** - indicam o progresso do usuário dentro do ambiente. Os **níveis de jogo** devem manter a percepção de que há progresso na história do jogo, proporcionando o engajamento do usuário. A cada nível avançado, habilidades aprendidas devem ser reforçadas ou novas sejam aprendidas, gerando aprendizagem gradativa. Os níveis servirão como motivação para os usuários. **Níveis de dificuldade**, geralmente, são organizados em três níveis de dificuldade: fácil (para iniciantes com desafios mais simples), médio (proporciona um sistema com dificuldade e desafios equilibrados) e difícil (mais indicado para usuários experientes, pois possuem desafios com maior complexidade).
- **Rankings** - seu propósito principal é a comparação entre os jogadores/usuários envolvidos. Serve como uma forma de visualizar a progressão dos usuários dentro do ambiente e gera um senso de competição entre eles.
- **Desafios e Missões** - são os elementos que orientam os usuários sobre as atividades que devem ser realizadas dentro de um ambiente.
- **Regras** - um sistema gamificado pode ser composto por um conjunto de regras que definem como o usuário pode utilizar o ambiente, como esse ambiente funciona, o que é ou não permitido, etc. As regras servem para limitar as ações dos usuários e tornar o sistema gerenciável (Kapp, 2012).
- **Narrativa** - Através da narrativa pode-se fazer com que o usuário apresente um comportamento esperado frente a um contexto. Histórias são utilizadas para transmitir informações e guiar pessoas, a combinação do sistema com a história cria uma experiência interativa que engaja o usuário (Kapp, 2012).

Esse conjunto de técnicas provenientes dos jogos, segundo Nakamura e Csikszentmihalyi (2002), aumentam significativamente o prazer em realizar uma atividade, conseqüentemente tornando o aprendizado mais fácil e significativo para o aluno.

3. Softwares Relacionados

Com o objetivo de facilitar o aprendizado daqueles que buscam o conhecimento referente aos algoritmos, são disponibilizadas atualmente ferramentas que geralmente destinam-se a apenas uma linguagem de programação o que muitas vezes limita o estudante, quando não o faz abandonar os estudos devido às dificuldades encontradas durante o processo, desmotivando-o. A aprendizagem através de pseudocódigo deve ser motivada e levada ao centro do aprendizado e conseqüentemente a uma abrangência muito maior de conhecimento para o estudante. Realizou-se uma pesquisa de softwares relacionados à área, através dos quais citamos: Blockly Games¹, Robocode², Snap!³.

¹ <https://blockly-games.appspot.com/>

O Blockly Games é um site que disponibiliza 8 desafios diferentes sendo que dentro de cada desafio há 10 níveis de dificuldade, apresentado um nível de ludicidade considerável, onde ao final de cada desafio concluído é mostrado o código na linguagem JavaScript da montagem dos blocos utilizada para a solução do problema.

O Robocode é um software que utiliza as linguagens de programação .NET (C#) ou JAVA permitindo programar um robô virtual em batalhas multijogador. É possível utilizar classes e objetos para implementar uma inteligência artificial no robô.

O Snap! é um site que se assemelha ao Blockly, mas possui um nível de dificuldade superior para resolução dos problemas apresentados, possui uma biblioteca maior de comandos permitindo a construção em um maior nível de complexidade.

A proposta do Game Logic é um aplicativo móvel Android para auxiliar no aprendizado de pseudocódigos através de blocos de fluxo, não sendo necessário conexão com a internet, pois a ferramenta é instalada no aparelho do usuário. Tem-se desafios com os quais apresentam-se as instruções básicas para uso dos blocos necessitando de raciocínio lógico. Não há o ensino de uma linguagem em especial, pois pretende-se apresentar aqui uma ferramenta que instrua o jogador a obter a lógica necessária a programar em qualquer linguagem, não o limitando a apenas uma. Os desafios à medida em que são vencidos terão seu nível de dificuldade incrementados e consequentemente mais blocos serão apresentados ao usuário ajudando-o a superar os desafios.

4. Proposta

O Game Logic é um aplicativo voltado para estudantes de múltiplas faixas de idade, contemplando-os do ensino fundamental e médio até os períodos iniciais de cursos superiores da área de exatas, a exemplo de Engenharia e Tecnologia da Informação.

O aplicativo propõe o ensino da lógica de programação através da programação em blocos, fazendo com que o ato de aprender algo novo torne-se mais motivador e prazeroso, aliado a mobilidade que a plataforma Android oferece, podendo o estudante praticar sempre que houver tempo hábil. O intuito principal é desenvolver o raciocínio do estudante, apresentando de maneira ilustrativa como os principais comandos inerentes a maioria das linguagens de programação funcionam. O Game Logic conta com vários desafios que são propostos ao estudante em etapas, sendo que a cada novo desafio vencido o nível de dificuldade também é aumentado. Para que haja um maior incentivo e também para atender aspectos importantes que todo jogo deve conter. À medida que cada desafio é superado o nível de dificuldade é incrementado, sendo que sempre que se tornar necessário um novo bloco de comando será apresentado ao usuário auxiliando-o a superar o desafio, e incentivando-o a utilizar sempre soluções elegantes, no que diz respeito à montagem do fluxo de código para resolução do problema. Os desafios buscam desenvolver o senso de criatividade do estudante, frente a problemas relativamente simples. O jogo começa apresentando a tela inicial de opções (Figura 1 (a)) direcionando o estudante a outras partes do jogo, destacando o botão Conquistas (Figura 1 (b)) onde são registrados no serviço Google Play Games os avanços feitos no

² <http://robocode.sourceforge.net/>

³ <http://snap.berkeley.edu/>

jogo, e na opção Jogar (Figura 1 (c)) abre-se a janela de acesso os a seleção desafios do jogo que são estruturados em 3 níveis, sendo que cada nível possui 12 desafios.

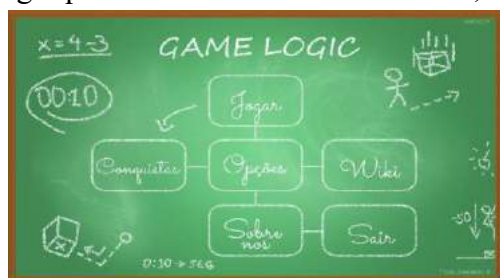


Figura (a) Tela Inicial



Figura (b) Conquistas



Figura (c) Seleção de Fase

Figura 1 Telas iniciais do Game Logic

Os desafios são liberados à medida que o atual é superado, sendo assim ao iniciar o jogo pelo primeiro desafio, ele logo será orientado sobre o intuito da aplicação e direcionado a executar os primeiros comandos dentro da ferramenta na tela de boas-vindas (Figura 2 (a)), após arrastar e soltar os comandos no local indicado (Figura 2 (b)), o jogador é direcionado a executar o fluxo por ele criado e após concluir o desafio (Figura 2 (c)) é promovido de fase (Figura 2 (d)), dando continuidade ao processo.



Figura (a) Tela de boas vindas



Figura (b) Criação fluxo com blocos



Figura (c) Tela de conclusão do desafio



Figura (d) Início da segunda fase

Figura (2) Telas da visão interna do jogo

O aplicativo além de contar com os comandos básicos de direcionais, também possui os comandos principais que são pertinentes a qualquer estrutura de algoritmo de qualquer linguagem de programação que são as sequenciais, de decisão e repetição como mostra a (Figura 3) onde encontram-se os comandos presentes implementados até o presente momento. A medida em que os desafios são superados mais blocos de controle irão ser adicionados, para que gradualmente os estudantes familiarizem-se com as estruturas que formam um algoritmo. Também foi implementado um ranking interno para que assim o estudante possa ver pontuações anteriores na mesma fase, o que auxilia no processo de automotivação o que segundo Bandura (1993) e Schunk (1995), a crença firme dos estudantes em sua auto eficácia para manejar as suas próprias atividades de aprendizagem e motivação fornece confiança e realce às realizações de desempenho.



Figura 3 - Comandos até agora presentes no jogo.

Como o jogo baseia-se em no controle de um personagem, e que os blocos de comando os direcionam a um determinado local no jogo, foram também considerados a quantidade de passos dados no cálculo da pontuação geral da fase.

5. Avaliação

Uma avaliação preliminar foi realizada com 10 alunos voluntários do 3º e 5º período de um curso de Análise e Desenvolvimento de Sistemas. Todos os alunos já haviam cursado disciplinas que abordam lógica de programação. Os dados foram coletados por meio de questionários online respondidos após o jogador testar o *Game Logic*, com o objetivo de avaliar o jogo e, observação para avaliar o comportamento dos jogadores enquanto interagem com o jogo. Três dos autores fizeram o papel de observador analisando como o jogador se relaciona com o objeto testado, percebendo se o jogo consegue transportá-lo para uma experiência lúdica e verificar se os objetivos do jogo e as instruções para manipulação dos controles são claras e objetivas.

Os dados dos questionários nos permitiram obter resultados otimistas, sobretudo em relação a aspectos de jogabilidade. Pois, os participantes conseguiram compreender facilmente a proposta do jogo e mostraram-se motivados a continuar jogando. A Figura 4 apresenta alguns gráficos dos dados coletados nos questionários. Quando questionados a respeito de uma atribuir uma nota ao *Game Logic*, a maior parte dos participantes, avaliou de 8 a 10. Os jogadores conseguiram relacionar os conteúdos apresentados no jogo com os conteúdos vistos em sala de aula. Um dos participantes afirmou que “Isso vicia igual ao *angry birds*” (Participante 06).

Através das observações pudemos identificar que os jogadores não liam as instruções da primeira fase, que consiste em um tutorial, e já tentavam realizar os desafios propostos. Assim, modificaremos o tutorial para que seja mais objetivo e intuitivo.

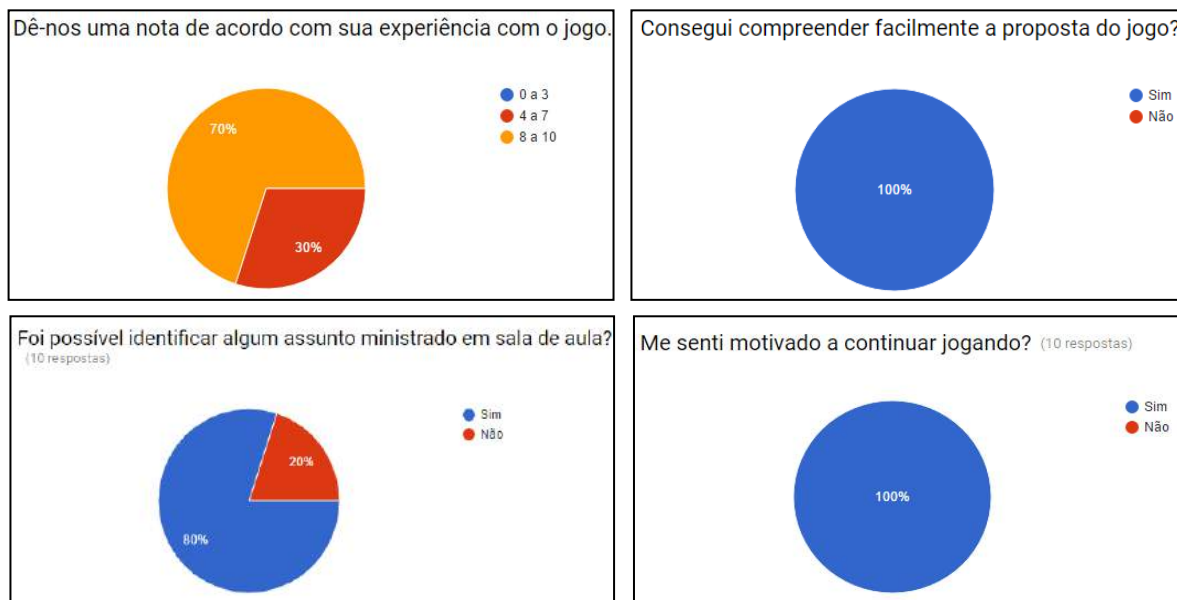


Figura 4 – Gráficos das respostas dos questionários

Outros jogadores tocavam duas vezes na tela fazendo com que o tutorial passasse sem lê-lo, e isso dificultava a jogabilidade (aprendizado do jogo). Uma possível solução é mudar o tempo de toques na tela impondo uma pequena pausa entre um toque e outro. Percebemos, também, que os jogadores tiveram um pouco de dificuldade para remover eventos adicionados para realizar uma sequência de passos à área do lado direito da tela. Assim, uma possível solução será, na primeira fase, exibir uma mensagem informando que o usuário pode remover eventos apenas arrastando-os novamente para a área de seleção de eventos na parte inferior da tela. Alguns usuários não conseguiam entender o botão “foco” por não enxergarem a iluminação contida nele ao realizar o tutorial. Com isso, eles arrastavam o painel direito até chegar o evento “start”. Iremos implementar uma setinha apontando para ele com um texto mais explicativo.

Ao final do questionário os jogadores foram perguntados sobre sugestões de melhorias para o *Game Logic*. Os participantes sugeriram que colocássemos um brilho nas estrelas que aparecem ao final de cada fase. As principais palavras do tutorial precisam ter mais destaque. Deixar mais claro o objetivo do jogo, a usabilidade do evento *loop* e o sistema de pontuação. Ao bloquear eventos deixar eles em um tom de cinza para que os usuários saibam que não são clicáveis.

6. Considerações e Trabalhos Futuros

Neste artigo foi apresentado o **Game Logic**, um jogo voltado para o aprendizado de pseudocódigos através da montagem de fluxogramas com blocos de instrução pré-dispostos na interface da ferramenta, tornando o aprendizado de qualquer linguagem de programação mais facilitado, a ferramenta investe principalmente em conceitos fundamentais de aprendizagem através de jogos digitais como, por exemplo, a gamificação, o layout do jogo propõe a inserção do jogador em um mini mundo onde o

personagem é controlado através dos blocos de comando disponíveis e que vão sendo liberados sempre que o novo desafio liberado exigir o uso de um bloco mais otimizado.

Os passos e a quantidade de blocos usados durante a realização do desafio também são determinantes para o cálculo da pontuação total dos desafios propostos pela ferramenta, fazendo com que cada vez mais o estudante busque construir fluxos de blocos de maneira elegante buscando aproveitar ao máximo o potencial cada bloco. Também foi visto que aspectos fundamentais para a construção de jogos educacionais devem ser seguidos, e que a correta aplicação de tais conceitos durante o desenvolvimento de qualquer ferramenta destinada a este público gera resultados positivos para as diferentes partes interessadas na aplicação e no uso da ferramenta.

Tendo em mente que o presente trabalho, bem como, o software aqui apresentado, encontram-se em constante desenvolvimento, a publicação de novas releases auxiliará na captação de *feedback* necessário para melhorias consecutivas, o que também elevará a qualidade da aplicação consideravelmente, uma vez que o próprio usuário final indicará suas necessidades. O desenvolvimento atual foca em aspectos como melhoria de interface e também de usabilidade identificados na avaliação, no que contempla a mitigação de recursos do dispositivo hospedeiro, bem como produção para outras plataformas, uma vez que o foco inicial de produção foi à plataforma Android. Ocorrerá também a implementação de novos blocos de instrução, com o decorrer do desenvolvimento de mais desafios, fazendo com que o estudante venha a conhecer a maior quantidade possível de blocos de instrução disponíveis.

8. Referências

- Bandura, A., & Schunk, D. H. (1981). Cultivating competence, self-efficacy, and intrinsic interest through proximal self-motivation. *Journal of Personality and Social Psychology*, 41, 586-598
- Barbosa, L. S.; Fernandes, T. C. B; Campos, A. M. C. (2011) Takkou: Uma Ferramenta Proposta ao Ensino de Algoritmos. WEI – XIX Workshop sobre Educação em Computação, XXXI Congresso da Sociedade Brasileira de Computação.
- Borba, Marcelo de Carvalho; Penteadó, Miriam Godoy. *Informática na Educação*. Belo Horizonte: Autêntica, 2001.
- Brathwaite, Brenda; Schreiber, Ian, 2009. *Challenges for Game Designer – Non-digital exercises for video game designers*. Boston: Cengage Learning.
- Costa, H.A.X.; Santos, R.P.; Werner, C.M.L. (2010) “Uma Análise do Processo de Ensino e Aprendizagem de Engenharia de Software: Desafios e Soluções no Contexto Brasileiro”, In: *Proceedings of the XI International Conference on Engineering and Technology Education*, Ilhéus, BA, Brasil, 367-371.
- Crawford, C. *The Art of Computer Game Design*. (1982). http://www.rohan.sdsu.edu/~stewart/cs583/ACGD_ArtComputerGameDesign_ChrisCrawford_1982.pdf.
- Cuperschmid, A. R. M. (2008) *Heurísticas de jogabilidade para jogos de Computador*. Dissertação (Mestrado em Artes) – Programa de Pós-Graduação em Artes, Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP.
- Dantas, V.; Freitas, P.; Alencar, L. (2011) ProGame: Um jogo para apoiar o ensino aprendizagem de programação. In: *First Workshop on Applications to Provide Learning*

- and Teaching Support (APPLETS), Aracaju – SE. Anais do XXII SBIE – XVII WIE, 2011.
- Dicheva, D., et al., Gamification in Education: A Systematic Mapping Study, in: Educational Technology & Society, v. 18, n. 3, 2015.
- MORATORI, Patrick Barbosa. Por que utilizar jogos educativos no processo de ensino aprendizagem. UFRJ. Rio de Janeiro, 2003.
- Falkembach, Gilse A. Morgental. O lúdico e os jogos educacionais. Mídias na Educação. Disponível em: http://penta3.ufrgs.br/midiasedu/modulo13/etapa1/leituras/arquivos/Leitura_1.pdf Acesso em 15 de abril de 2016, v. 16, 2006.
- Huizinga, Johan. Homo ludens: O jogo como elemento de cultura. São Paulo: Perspectiva, 1998
- Kapp, K. The gamification of learning and instruction: Game-based methods and strategies for training and education. Pfeiffer, 2012.
- Moratori, P, B. Por que utilizar jogos educativos no processo de ensino aprendizagem? Trabalho de conclusão da disciplina Introdução a Informática na Educação 28 f. (Mestrado de Informática aplicada à Educação) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.
- Nakamura, J., Csikszentmihalyi, M., The concept of flow. in: Handbook of positive psychology, p. 89105, 2002.
- Neves, M.F.; Coello, J.M.A. (2006) “OntoRevPro: Uma Ontologia sobre Revisão de Programas para o Aprendizado Colaborativo de Programação Java”, In: Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Informática na Educação, Brasília, DF, Brasil, 569-578.
- Prensky, M. Digital game-based learning. Computers in Entertainment (CIE), 1(1), 21-21. 2003.
- Schell, Jesse, 2008a. The Art of Game Design – A Book of Lenses. Burlington: Morgan Kaufmann Publishers.
- Schunk, D. H. (1995). Self-efficacy and education and instruction. In J. E. Maddux (Org.), Self-efficacy, adaptation, and adjustment: Theory, research, and application (pp. 281-301). Nova York: Plenum
- Silva, Max André de Azevedo; Dantas, Ayla. KLouro: Um jogo educacional para motivar alunos iniciantes em programação. In: Anais do XXV Simpósio Brasileiro de Informática na Educação. III Congresso Brasileiro de Informática na Educação, Dourados, MS, Brasil, 702-7011 (2014).
- Tang, S., Hanneghan, M. and El Rhalibi, A. Introduction to Games-Based Learning, In Games-based Learning Advancement for Multisensory Human Computer Interfaces: Techniques and Effective Practices (Eds: T.M. Connolly, M.H. Stansfield and E. Boyle). Idea-Group Publishing: Hershey. ISBN: 978-1- 60566-360-9. 2009
- Vianna, Ysmar; Vianna, Maurício; Median, Bruno e Tanaka, Samara (2013) Gamification, Inc: como reinventar empresas a partir de jogos. 1. Ed. – Rio de Janeiro : MgJV Press.
- Zichermann, G.; Cunningham, C. Gamification by Design: Implementing game mechanics in web and mobile apps. Sebastopol: O'Reilly Media Inc, 2011.

Apoio ao ensino de análise e projeto de software usando a plataforma Arduino

Bruno Lima, Guilherme Mattiello, Luis Galonetti, Murylo Lopes, Rhuan Costa, Andre R. Ortoncelli, Paulo Nardi, Andre T. Endo

¹Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Brasil

Abstract. *The teaching of software analysis and design can take advantage of more specific systems for engineering courses, since some of these areas focus on embedded systems and hardware components associated. In this context, this paper presents the development of an open educational resource to support the teaching of software analysis and design using the Arduino platform. The resource consists of Arduino projects with circuit schematics and UML diagrams, helping the comprehension of requirements and the project assembly. Such resource was evaluated with Computer Engineering students, who reproduced the projects and gave feedback on the generated artifacts aiming to reach the proposed objectives. Through a survey, we observed that students were satisfied with the process and the artifacts available for the understanding and replication of the projects.*

Resumo. *O ensino de análise e projeto de software pode usufruir de sistemas mais específicos para cursos de engenharia, pois algumas dessas áreas focam em sistemas embarcados e componentes de hardware associados. Neste contexto, este artigo apresenta o desenvolvimento de um recurso educacional aberto para apoiar o ensino de análise e projeto de software usando a plataforma Arduino. O recurso é composto por projetos desenvolvidos para a plataforma Arduino, com esquemáticos de circuitos eletrônicos e diagramas UML auxiliando a compreensão dos requisitos e montagem do projeto. Tal recurso foi avaliado com alunos do curso de Engenharia da Computação, que reproduziram os projetos e deram feedback sobre os artefatos gerados visando alcançar os objetivos propostos. Por meio de um questionário, foi observado que os alunos ficaram satisfeitos com o processo e com os artefatos disponibilizados para o entendimento e execução dos projetos.*

1. Introdução

Disciplinas relacionadas à Engenharia de Software têm uma natureza essencialmente prática, fato que conflita diretamente com a maneira como esses conteúdos são geralmente abordados em cursos de graduação, que é predominantemente teórica [Souza et al. 2010]. Apesar do embasamento teórico ser essencial, por si só, não é suficiente para que os alunos estejam preparados para o mercado de trabalho [Damian et al. 2006].

Uma forma de amenizar esse problema é fazer com que os alunos desenvolvam pequenos projetos fictícios ou reais [Yamaguti 2016]. Porém em grande parte, tais projetos possuem ênfase em sistemas de informação e jogos [Larman 2012] - domínios que não representam o foco de alguns dos cursos de Bacharelado em Engenharia, tais como

as Engenharia Elétrica, de Computação e de Automação, que envolvem essencialmente projetos de sistemas embarcados e componentes de hardware associados.

Nestes cursos, é comum o uso de sistemas e componentes baseados no Arduino para o apoio ao ensino de disciplinas como Programação [Brock et al. 2009, Melo et al. 2014, Mattos et al. 2015, Avila 2016], Robótica [Pinto et al. 2012, Grover et al. 2014], Probabilidade e Estatística [Cavalcante et al. 2014] e Física [de Souza et al. 2011]. No entanto, há poucos trabalhos na literatura que objetivam o apoio ao ensino de Engenharia de Software aplicada a esses cursos. Como exemplo, [Duschl et al. 2014] examinam defeitos em diagramas UML (Linguagem de Modelagem Unificada) produzidos por alunos de Engenharia Mecânica.

Neste artigo, é proposto o uso da plataforma Arduino para o processo de ensino e aprendizagem de Análise e Projeto Orientado a Objetos (APOO). Esta plataforma é bastante difundida nos cursos de Engenharia devido a seu baixo custo e popularidade na comunidade DIY (*Do It Yourself*). Além disso, possibilita o desenvolvimento/prototipagem de sistemas embarcados de forma simplificada [Arduino 2017]. Três contribuições são apresentadas nesse artigo: (i) a introdução de uma abordagem para o ensino e aprendizagem de APOO em cursos de Engenharia; (ii) um recurso educacional que é disponibilizado de forma aberta e composto por vários projetos com artefatos relacionados (diagramas UML, esquemáticos de circuito e código fonte); e, (iii) uma avaliação e análise da abordagem introduzida.

O artigo está dividido da seguinte forma. Na Seção 2, é detalhado o recurso educacional apresentado neste trabalho por meio de um exemplo. Na Seção 3, é apresentada uma abordagem de aplicação do recurso educacional. O instrumento de avaliação do recurso, juntamente com os resultados obtidos, são apresentados na Seção 4. Por fim, na Seção 5, são apresentadas as conclusões e trabalhos futuros.

2. Recurso Educacional

Um recurso educacional é todo e qualquer material, equipamento ou tecnologia educacional utilizado em um processo de ensino, visando incentivar e aproximar o aluno do conteúdo [Freitas 2009]. Neste trabalho, o recurso educacional proposto consiste em um conjunto de projetos nos quais a plataforma alvo é o Arduino.

O objetivo de cada projeto é permitir que o estudante treine sua habilidade de interpretar os artefatos da UML e, a partir de sua interpretação, possa embarcá-lo no Arduino. Uma vez treinados nesta habilidade, os estudantes são incentivados a criarem seus próprios projetos e artefatos. Como resultado destas atividades, é esperado que o recurso auxilie o aluno na consolidação do conhecimento adquirido em aulas teóricas com o treinamento e na aquisição de novos conhecimentos com a criação de novos projetos.

Para cada projeto, foram gerados seis artefatos: (i) o diagrama de casos de uso; (ii) o diagrama de atividades; (iii) o diagrama de máquinas de estados; (iv) o diagrama de classe; (v) o esquemático de montagem; e (vi) o código fonte em linguagem C/C++, implementado utilizando a Arduino IDE¹, pronto para ser compilado e embarcado na placa Arduino. As análises e projetos disponíveis foram documentados com diagramas

¹<https://www.arduino.cc/en/Main/Software>

UML e desenvolvidos por meio do software Astah². Os esquemáticos foram gerados no Fritzing³ para facilitar a montagem física dos circuitos eletrônicos, identificando portas, conexões e componentes utilizados. Atualmente, o recurso educacional proposto possui 15 projetos, disponíveis em um repositório online⁴. Tal repositório pode ser estendido com novos projetos e fornece os elementos necessários para a replicação deste estudo.

Nesta seção, é apresentado um dos projetos do recurso educacional, que consiste na simulação de dois semáforos, cujas luzes são representadas por LEDs de três cores (assumindo um cruzamento de vias): dois vermelhos, dois amarelos e dois verdes. No projeto, foram implementados dois semáforos e dois botões: (i) um para ligar e desligar e (ii) outro para entrar/sair do modo alerta (piscando o LED amarelo). Na Figura 1, é ilustrado o esquemático para a montagem do projeto de simulação de semáforos. Tal artefato auxilia diretamente na montagem física do projeto, indicando as ligações elétricas dos componentes utilizados.

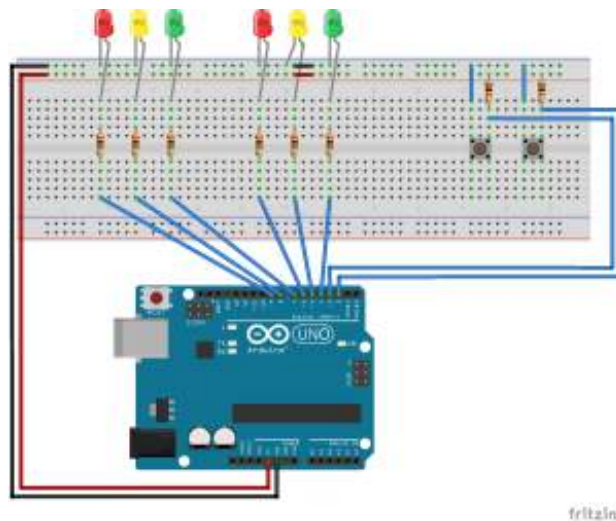


Figura 1. Esquemático – Semáforo

Nas Figuras 2, 3, 4 e 5, são ilustrados os diagramas de atividades, casos de uso, classe e máquina de estados, os quais visam o entendimento do projeto a ser reproduzido pelos alunos. Tais diagramas representam a estrutura e o comportamento, fornecendo visões estáticas e dinâmicas do sistema.

3. Procedimentos Metodológicos

O recurso educacional foi avaliado quanto a capacidade de auxiliar na consolidação e aquisição de conhecimentos e a sua aceitação pelos alunos. A avaliação se deu pela aplicação dos artefatos em sala de aula, em três turmas do sexto semestre do curso de Engenharia de Computação, durante a disciplina de Engenharia de Software. Os alunos possuem conhecimento prévio na linguagem de programação C e em orientação a objetos, bem como conceitos introdutórios de UML. Para cada turma, a avaliação aconteceu em seis aulas de cinquenta minutos cada. Os alunos foram aleatoriamente divididos em

²<http://astah.net/editions/community>

³<http://fritzing.org/home>

⁴<https://github.com/andreendo/umlino-rea>

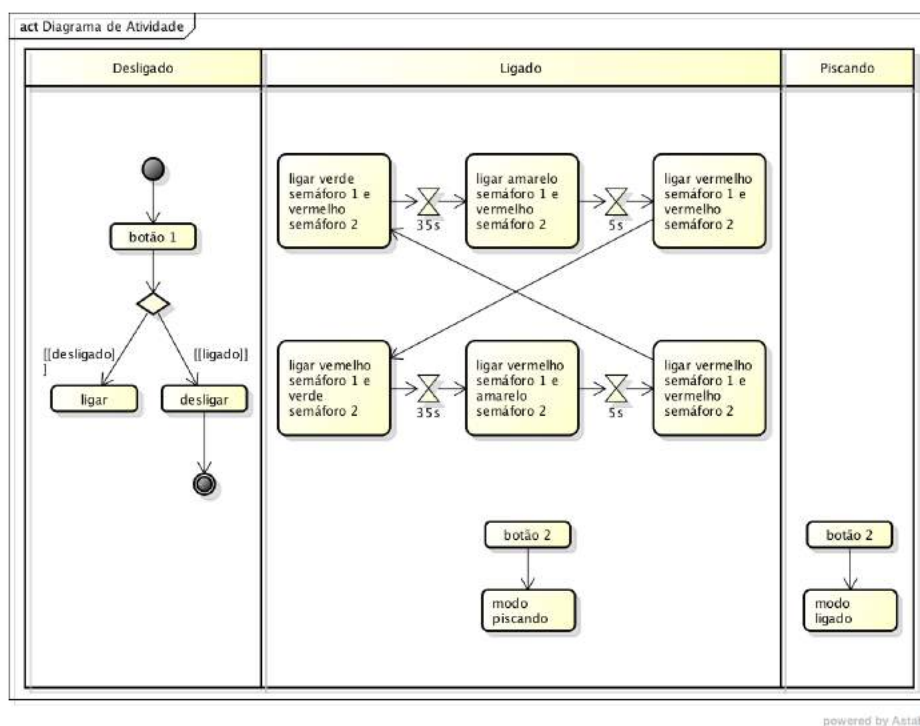


Figura 2. Diagrama de Atividades

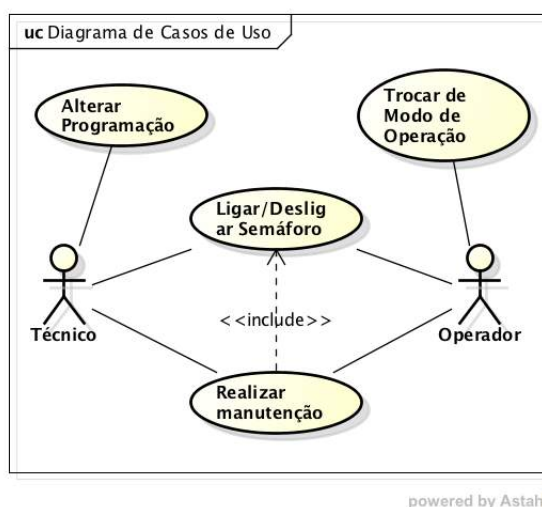


Figura 3. Diagrama de Casos de Uso

equipes, mescladas em alunos que já tinham conhecimento básico da plataforma Arduino com os que não a conheciam. No total, 53 alunos utilizaram o recurso.

O processo de avaliação se iniciou com um treinamento geral que introduziu a plataforma e as principais funcionalidades do Arduino IDE. Em seguida, os alunos foram divididos em grupos para a etapa de replicação dos projetos disponibilizados. Após a montagem e teste destes projetos de acordo com seus diagramas, os alunos foram incumbidos do desenvolvimento de um projeto próprio, seguindo os moldes dos projetos presentes no recurso educacional disponibilizado. Terminadas as etapas práticas, os alu-

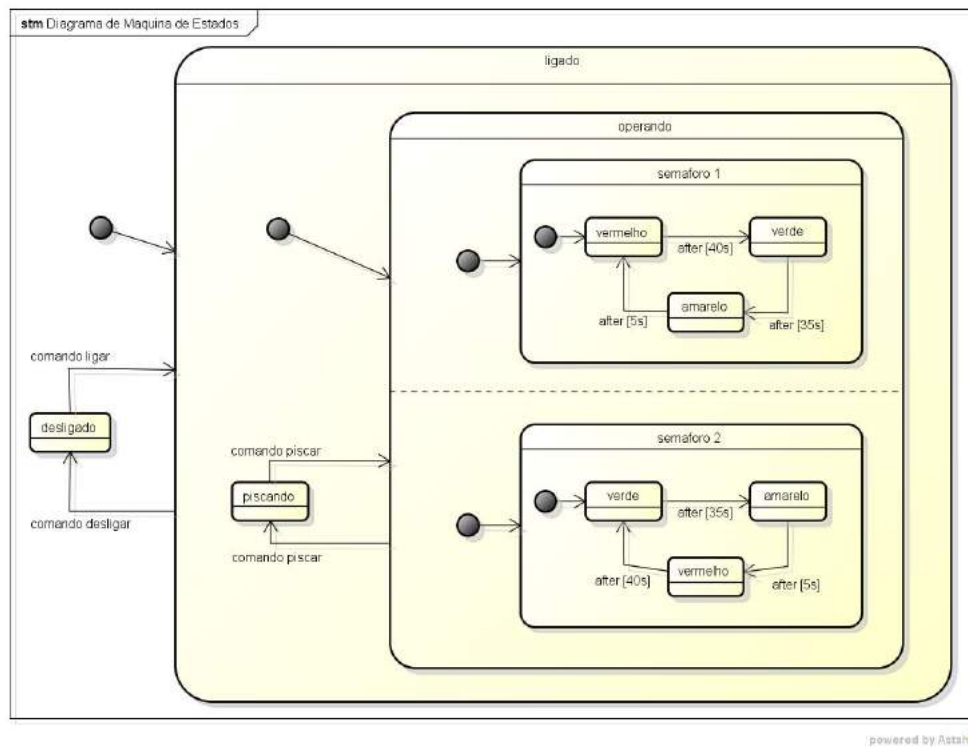


Figura 4. Diagrama de Máquina de Estados

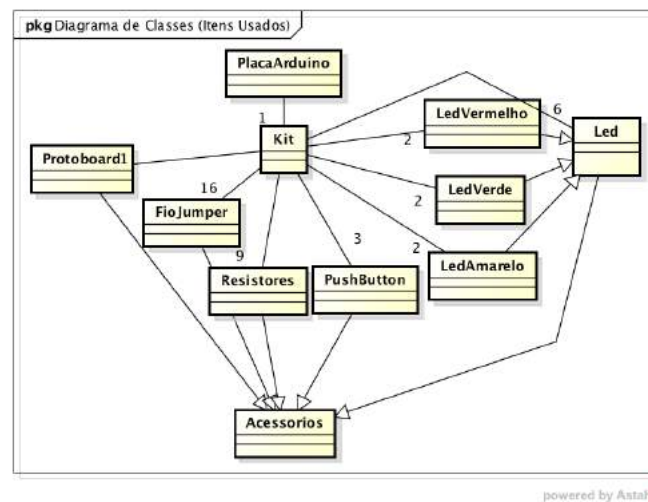


Figura 5. Diagrama de Classes

nos realizaram a identificação de defeitos encontrados nos projetos disponibilizados (nos códigos, esquemáticos e diagramas), e responderam a um questionário pós-estudo, cujos detalhes são apresentados na Seção 4.

Durante a aplicação do recurso, os alunos foram instruídos a seguirem um processo de desenvolvimento, conforme ilustrado na Figura 6. Tal processo, que pode ser usado em futuras replicações, os auxiliou no uso correto dos diagramas UML e na reflexão sobre o entendimento dos artefatos. Acredita-se que o processo também auxiliou na prevenção de danos causados aos componentes do kit Arduino.

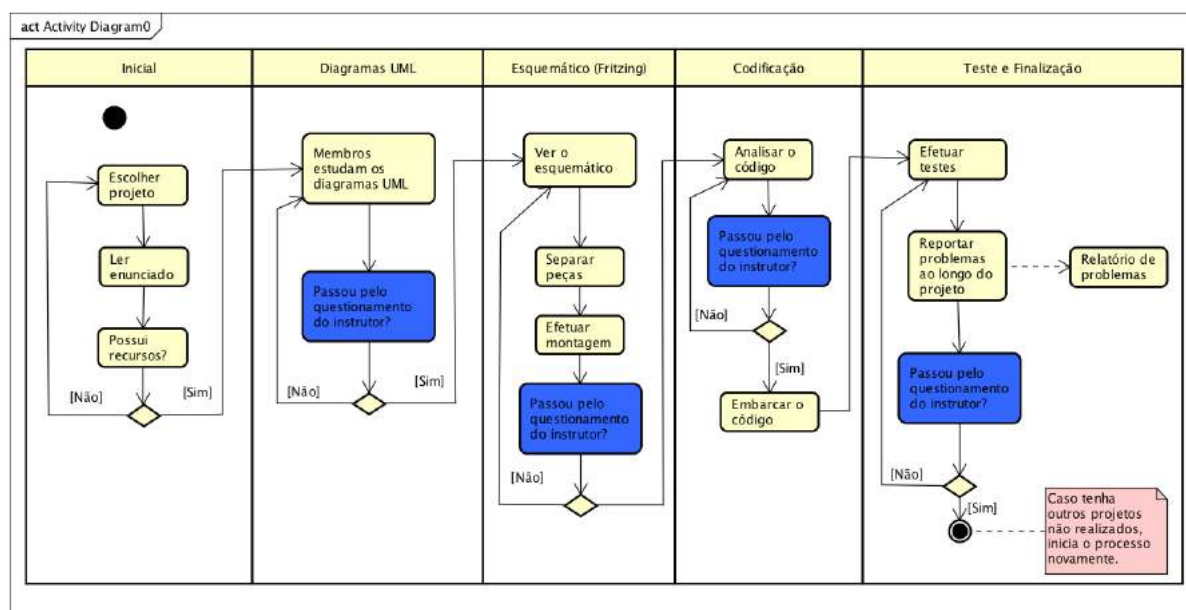


Figura 6. Processo de Uso do Recurso Educacional

4. Instrumento de Avaliação do Recurso

Com o intuito de analisar a abordagem utilizada e avaliar os pontos que devem ser melhorados, um questionário foi aplicado logo após a conclusão do processo apresentado na Figura 6. O questionário continha 15 questões com opções de resposta em escala Likert, utilizada para respostas psicométricas em pesquisas de opinião, cujos valores são definidos de um a cinco. O valor um representa completo desacordo ou negação, enquanto que o valor cinco representa completo acordo ou aprovação. O questionário também conta com uma questão aberta em que o aluno poderia dar sugestões e opiniões. As questões e suas respostas são apresentadas na Tabela 1. As respostas às Questões de 1 a 8 e de 9 a 15 são apresentadas na forma de gráficos nas Figuras 7 e 8, respectivamente.

Segundo a Questão 2 da avaliação conduzida, os alunos entenderam que o recurso educacional permitiu consolidar os conhecimentos de UML inicialmente aprendidos em teoria. Este resultado está em consonância com o objetivo esperado de uso do recurso ao possibilitar que o estudante treine sua habilidade de interpretar os artefatos da UML e verifique o resultado de suas interpretações no projeto embarcado em Arduino. O resultado da Questão 1 indica que o recurso auxiliou na aquisição de novos conhecimentos com a criação de novos diagramas após a atividade de treinamento. A aplicação da teoria em novos problemas gera soluções não previstas anteriormente nas aulas teóricas e, por consequência, produz novos conhecimentos.

Os resultados das Questões 3 a 6 indicam uma acentuada aceitação do recurso educacional e interesse no uso e prática individual. As respostas das Questões 7 e 8 indicam que os alunos entendem, na prática, a importância do uso de UML e esquemáticos em projetos embarcados. Esta última indicação é um fator pedagógico importante, dado que o aprendizado apenas teórico pode não transmitir devidamente a importância do conteúdo ministrado ao aluno. As respostas às Questões 9 a 15 evidenciam que o recurso educacional está, de uma forma geral, apropriado aos seus objetivos. No entanto, melhorias

Questões	CT	CP	I	DP	DT
1: O recurso educacional utilizado permitiu adquirir novos conhecimentos?	44	6	1	2	0
2: O recurso educacional utilizado permitiu consolidar conhecimentos já existentes?	40	11	2	0	0
3: O recurso educacional deve ser utilizado novamente nesta disciplina?	46	1	3	2	1
4: O recurso educacional foi aplicado no tempo adequado?	25	19	3	4	2
5: Esta atividade deveria ser feita individualmente?	5	12	8	9	19
6: A configuração em equipes foi adequada para esta atividades?	34	13	3	2	1
7: Os diagramas em UML foram essenciais para a execução dos projetos?	25	20	6	1	1
8: Os esquemáticos da ferramenta Fritzing foram essenciais para o desenvolvimento dos projetos?	42	9	1	1	0
9: Os códigos fonte em C foram essenciais para a execução dos projetos?	44	6	1	2	0
10: O processo seguido para a execução dos projetos foi adequado?	46	3	3	1	0
11: Novos projetos devem ser adicionados ao recursos?	38	10	5	0	0
12: Os diagramas UML precisam ser melhorados?	38	9	6	0	0
13: Os esquemáticos em Fritzing precisam ser melhorados?	2	19	15	6	11
14: Os códigos-fonte em C precisam ser melhorados?	3	11	13	8	18
15: Os artefatos (códigos, diagramas) em Inglês complicariam o entendimento?	1	13	19	11	9

Tabela 1. Respostas ao Questionário: CT - Concordam Totalmente; CP - Concordam Parcialmente; I - Indiferentes; DP - Discordam Parcialmente; DT - Discordam Totalmente

no recurso educacional ainda são necessárias. Por exemplo, escolhas mais didáticas podem ser propostas para determinadas abstrações e diferentes visões/versões de um mesmo diagrama podem ser introduzidos.

Em relação a questão aberta, grande parte dos alunos reportaram uma boa experiência (principalmente em relação ao caráter prático dos projetos) e advogaram pela continuidade da atividade na disciplina. Alguns alunos questionaram o tempo da atividade, sugerindo um maior tempo para desenvolver os projetos ou mesmo uma disciplina focada neste conteúdo. Outros destacaram que a atividade foi o primeiro contato com a plataforma Arduino, fato que aumentou sua motivação. Um aluno questionou a adequação de alguns diagramas (por exemplo, o diagrama de classe), uma vez que tal representação nem sempre se traduz em classes no código. Outro sugeriu a inclusão de projetos maiores e mais complexos; na realidade, o recurso possui um projeto de um robô vigilante que não foi aplicado devido a insuficiência de componentes para todos os grupos. A ideia é que esse e outros projetos mais complexos possam ser aplicados no futuro. Por fim, a divisão das equipes foi um ponto de controvérsia: uns gostaram de trabalhar com outros colegas, enquanto que outros preferiam colaborar com seus amigos. O número de participantes na

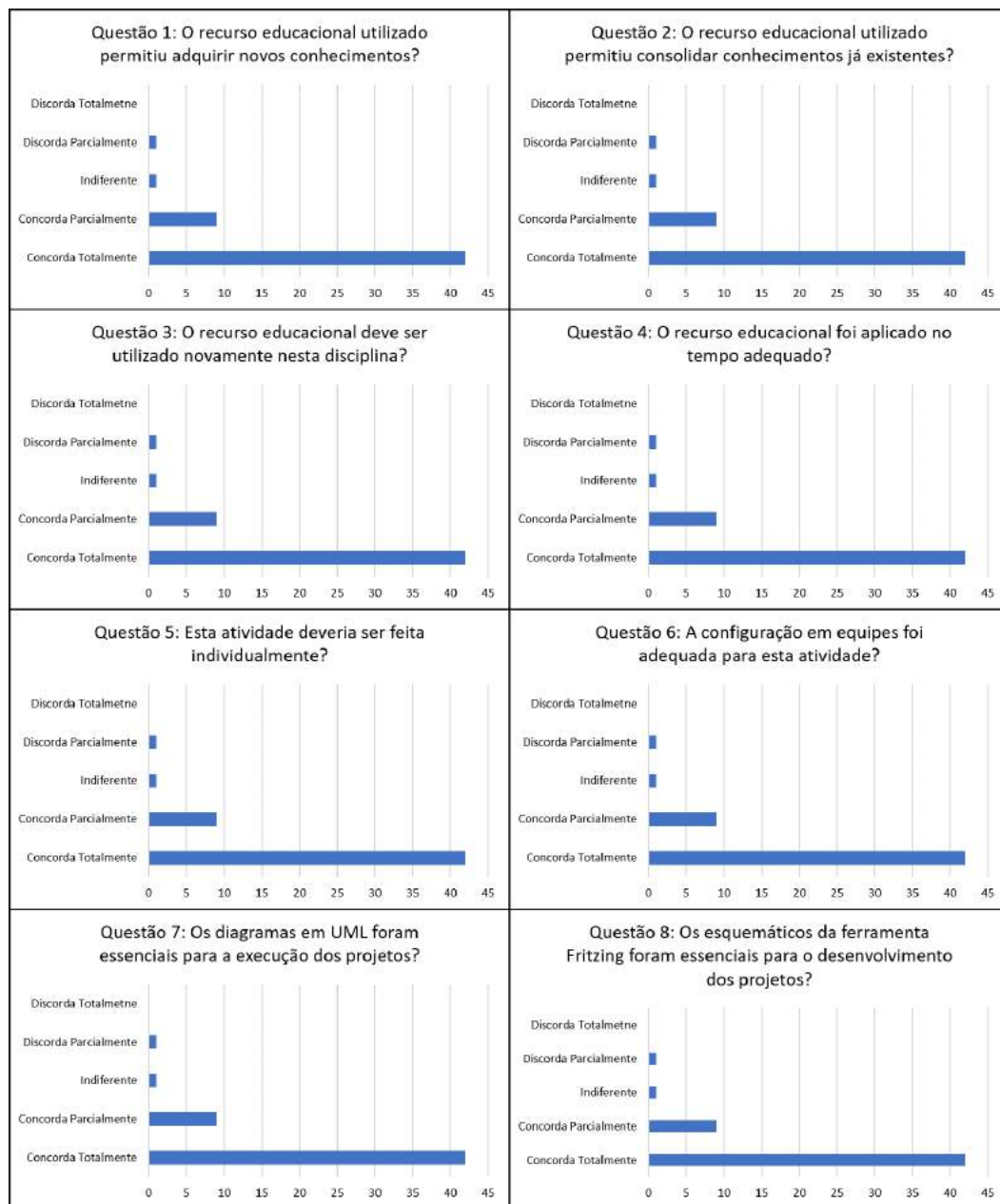


Figura 7. Respostas das Questões de 1 a 8

equipe e a necessidade de fazer todos os projetos em equipe também foram outros pontos ponderados.

5. Conclusão

Recursos e exemplos da literatura, usados em aula para aproximar a teoria da prática em Engenharia de Software, geralmente enfatizam sistemas de informação. Tais temas não representam o foco principal em alguns cursos de Bacharelado em Engenharia. A abordagem apresentada visou a utilizar temas de maior aderência - como sistemas embarcados e Arduino - para estes cursos na criação de um recurso educacional aberto.

Uma vez que a avaliação do recurso proposto foi predominantemente positiva,

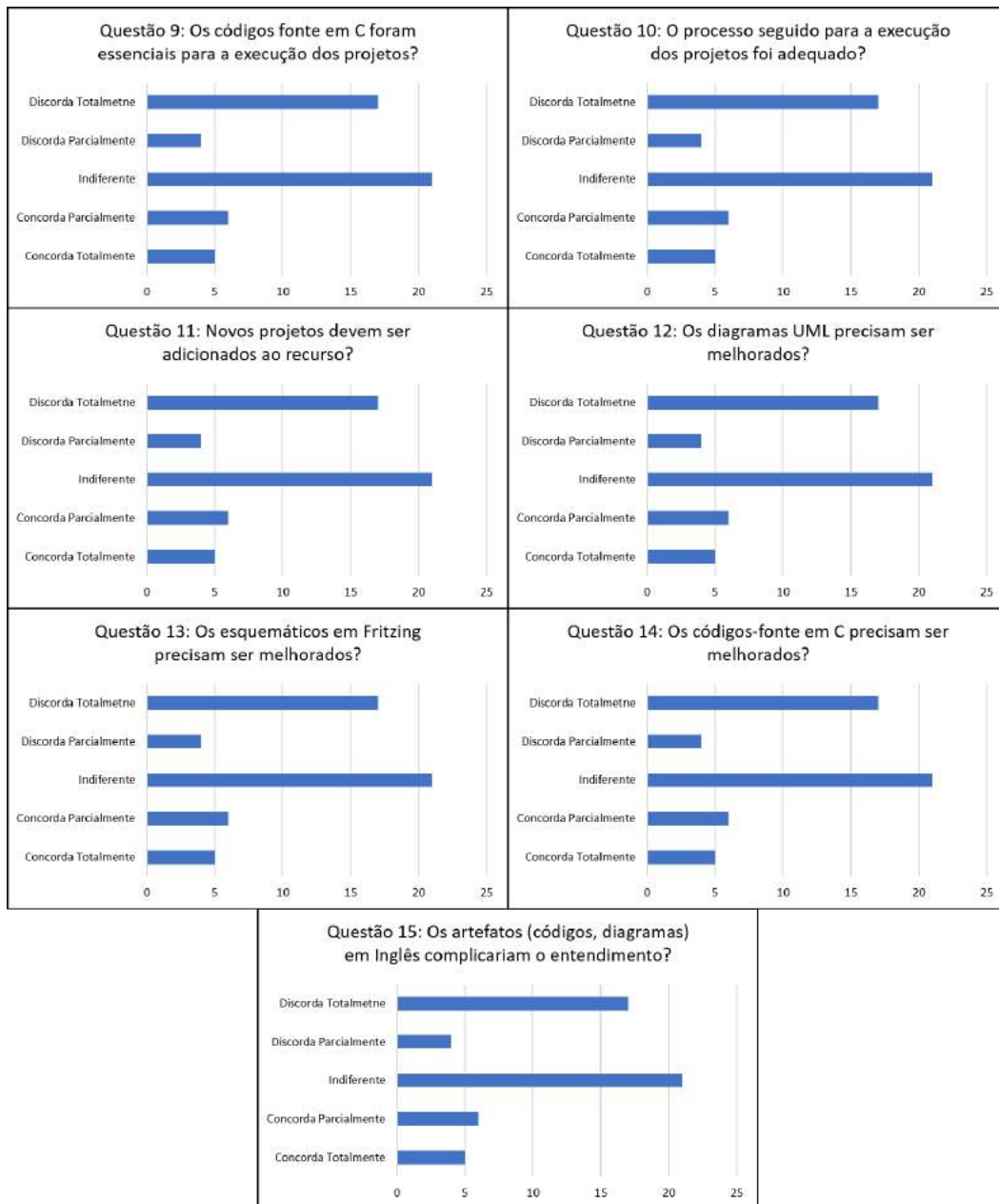


Figura 8. Respostas das Questões de 9 a 15

espera-se que a proposta apresentada possa contribuir no apoio ao ensino da disciplina de análise e projeto de software em cursos de Bacharelado em Engenharia, cujos recursos são, ainda, pouco focados em suas distintas características. Como trabalhos futuros, pretende-se investigar a disponibilização dos artefatos em outro idioma e a extensão do recurso a outras fases da Engenharia de Software, tais como requisitos, teste e processos.

Agradecimentos O projeto apresentado foi financiado pelos editais 32/2014 e 15/2015 -PROGRAD/UTFPR. A. T. Endo é parcialmente financiado pelo CNPq (445958/2014-6).

Referências

- Arduino (2017). The arduino platform. Online em: <https://www.arduino.cc/>.
- Avila, L.; Bernardini, F. C. M. P. (2016). O uso de robótica para aprendizado de programação integrando alunos de educação básica e ensino superior. In *Workshop sobre Educação em Computação*, pages 2277–2283.
- Brock, J. D., Bruce, R. F., and Reiser, S. L. (2009). Using arduino for introductory programming courses. *Journal of Computing Sciences in Colleges*, 25(2):129–130.
- Cavalcante, M. M., Silva, J. L. d. S., Viana, E. C., and Dantas, J. R. (2014). A plataforma arduino para fins didáticos: estudo de caso com recolhimento de dados a partir do plx-daq. In *Workshop sobre Educação em Computação*.
- Damian, D., Hadwin, A., and Al-Ani, B. (2006). Instructional design and assessment strategies for teaching global software development: a framework. In *International conference on Software engineering*, pages 685–690. ACM.
- de Souza, A. R., Paixão, A. C., Uzêda, D. D., Dias, M. A., Duarte, S., and de Amorim, H. S. (2011). A placa arduino: uma opção de baixo custo para experiências de física assistidas pelo pc. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 33(1).
- Duschl, K., Obermeier, M., and Vogel-Heuser, B. (2014). An experimental study on uml modeling errors and their causes in the education of model driven plc programming. In *IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, pages 119–128.
- Freitas, O. (2009). *Equipamentos e materiais didáticos*. Universidade de Brasília.
- Grover, R., Krishnan, S., Shoup, T., and Khanbaghi, M. (2014). A competition-based approach for undergraduate mechatronics education using the arduino platform. In *4th Interdisciplinary Engineering Design Education Conference (IEDEC)*, pages 78–83.
- Larman, C. (2012). *Applying UML and Patterns: An Introduction to Object Oriented Analysis and Design and Iterative Development*. Pearson Education India.
- Mattos, G. d. O., da Silva, D. R. D., and Moreira, J. A. (2015). A utilização de kits de robótica como ferramenta para o ensino de programação à meninas do ensino médio. In *Workshop sobre Educação em Computação*, pages 2277–2283.
- Melo, R. M., Filho, I. J. M., Feliciano, F. D. O., Carvalho, R. S., Brito, J. A., and Gomes, A. S. (2014). Using arduino as pedagogical strategy in learning logic programming. In *Iberian Conference on Information Systems and Technologies*, pages 1–5. IEEE.
- Pinto, M. d. C., Elia, M., and Sampaio, F. (2012). Formação de professores em robótica educacional com hardware livre arduino no contexto um computador por aluno. In *Workshop de Informática na Escola*, volume 1.
- Souza, M. M., Resende, R. F., Prado, L. S., Fonseca, E. F., Carvalho, F. A., and Rodrigues, A. D. (2010). Sparse: Um ambiente de ensino e aprendizado de engenharia de software baseado em jogos e simulação. In *Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*.
- Yamaguti, M. H.; de Oliveira, F. M. (2016). Ages – um espaço interdisciplinar, baseado em projetos, para aprendizagem de engenharia de software. In *Congresso da Sociedade Brasileira de Computação – Curso de Qualidade*,, pages 329–332.

5 Minutos de Programação em Exibições

Christiane Gresse von Wangenheim¹, Aldo von Wangenheim¹, Fernando S. Pacheco², M. Nathalie F. Ferreira¹, Jean C. R. Hauck¹

¹INCoD – Departamento de Informática e Estatística – Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) - Florianópolis – SC – Brazil

²Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC) - Florianópolis – SC – Brazil
c.wangenheim@ufsc.br, aldo.vw@ufsc.br, fspacheco@ifsc.edu.br, nathalie@incod.ufsc.br;
jean.hauck@ufsc.br

Abstract. *In order to popularize computing in a playful way at science fairs, we created an exhibit to demystify physical computing and at the same time to motivate and stimulate interest in computing. We designed two minion-shaped interactive programmable robots (one more than one meter high) that in a recreational way show how easy and interesting it can be to create programs in a few minutes in a drop-in setting. The robots are visually programmed via a Scratch 2/Snap! program and automated by an Arduino Nano microcontroller in a simple, low-cost, platform-independent way. Our experience at SEPEX 2015 with more than 4,000 visitors shows that offering such exhibits to the general public can be an engaging alternative for popularizing computing in an inexpensive way.*

Resumo. *Para popularizar a computação de maneira lúdica em feiras científicas, criamos um estande para desmistificar a computação física e, ao mesmo tempo, motivar e estimular o interesse pela computação. Foram projetados dois robôs programáveis interativos, em forma de minion (um deles com mais de um metro de altura). Com ambos, pode-se mostrar como é fácil e interessante criar programas em poucos minutos utilizando uma linguagem visual como Scratch 2 ou Snap!. O hardware consiste em uma placa microcontrolada Arduino Nano e um conjunto de sensores e atuadores. A experiência na SEPEX 2015, com mais de 4 mil visitantes, mostra que a oferta de tais estandes ao público em geral pode ser uma alternativa envolvente para popularizar a computação com um custo baixo.*

1. Introdução

A popularização da computação entre o público em geral, especialmente para crianças, tornou-se uma preocupação crescente. Atualmente, em várias profissões, a necessidade de conhecimento em computação não se limita simplesmente às habilidades básicas em tecnologia da informação. Torna-se cada vez mais importante ter uma certa fluência em computação [CSTA 2011], demonstrando habilidades básicas em pensamento computacional e programação [Gresse von Wangenheim et al. 2017]. Portanto, o ensino de computação para crianças em oficinas, acampamentos, tutoriais on-line ou dentro de seu contexto escolar tem se tornado recentemente uma tendência na educação. Existem várias iniciativas no Brasil com foco no ensino da computação na escola, como, por exemplo, a Iniciativa Computação na Escola (<http://computacaonaescola.ufsc.br>), e o Programa Meninas Digitais (<http://meninasdigitais.sbc.org.br>), além de outras

experiências [Silva et al. 2016], [Pinho et al. 2016], [Batista et al. 2015], [Silva de Oliveira et al. 2014].

Especialmente para crianças, o emprego de computação física ou robótica tem despertado grande interesse. Essa área multidisciplinar integra o mundo virtual com o real utilizando sensores e atuadores. Várias iniciativas têm direcionado crianças a aprender computação utilizando robôs [Padri and Chernova 2013], [O'Sullivan & Igoe 2004], [Bers and Urrea 2000] ou sensores e atuadores [Physical 2016], em atividades práticas e divertidas [Eguchi 2010],[Benitti 2012]. O ensino de computação física é tipicamente realizado no contexto escolar, seja em aulas regulares, como atividades de clubes extraclasse ou ainda como parte de desafios e competições como a RoboCupJunior [Robocup 2016].

Exposições em feiras ou museus podem ser consideradas formas alternativas de popularizar a computação, nas quais é possível atingir um público mais amplo e diversificado. Essas exposições oferecem ao público uma oportunidade de se envolver com a educação de maneira informal. Ao contrário da escola, eles são voluntárias, abertas e flexíveis. Os locais são frequentemente visitados por famílias, casais ou grupos de amigos como parte de atividades recreativas e/ou por excursões escolares como uma viagem de campo. A vantagem de exposições é que podem fornecer experiências emocionantes, fornecendo informações básicas e estimulando o interesse e a curiosidade por computação.

A fim de serem motivadoras e envolventes, exposições precisam fornecer experiências interativas, criando oportunidades para os visitantes explorarem e experimentarem atividades de pensamento computacional e/ou programação por si mesmos. No entanto, vários fatores têm de ser levados em consideração [Ucko 1985]. Como os visitantes são livres para escolher onde ir, o que fazer e o tempo de interação (ao contrário das configurações de sala de aula), exposições eficazes devem ser convidativas e de fácil compreensão [Falk et al. 2007]. Um público heterogêneo, sem experiência prévia, deve ser capaz de compreender o propósito da atividade, escopo e propriedades quase que imediatamente e sem esforço consciente [Allen 2004]. Além disso, deve ser curta e estimulante para manter a atenção e motivação dos visitantes durante todo o processo de interação [Humphrey et al. 2005], [Pekarik e tal. 1999]. Deve também criar mais interesse e o desejo de continuar aprendendo dentro e fora da escola [Maton-Howarth 1990]. Todas estas questões devem ser abordadas, mantendo os custos de desenvolvimento, aquisição e manutenção baixos [Horn et al. 2008].

Neste contexto, uma alternativa de baixo custo, que se popularizou nos últimos anos, é o emprego de placas eletrônicas com microcontroladores ou microprocessadores, como Arduino [Arduino 2016], Raspberry Pi [RaspberryPi 2016] ou GogoBoard [Blikstein 2013], [Karim et al. 2015]. Entretanto, a carência de ferramentas/interfaces amigáveis exige do público leigo um razoável conhecimento de eletrônica e computação [Vandeveldt et al. 2013], algo que pode criar uma barreira de acesso e desmotivar esse público. Uma das barreiras é a programação usando linguagens de nível mais baixo, em modo texto, com vários detalhes e particularidades de sintaxe [Vandeveldt et al. 2013]. O uso de linguagens visuais de *drag-and-drop*, como Scratch ou Snap! é fundamental para facilitar o processo de programação e apresentar uma interface mais atraente para o público geral [Vandeveldt et al. 2013].

Além das questões de custo e facilidade de uso, ao fazer uma observação mais atenta do público e das iniciativas de ensino de computação física, percebe-se que as aplicações de robótica muitas vezes diminuem o interesse das meninas por focarem na construção de carros ou robôs de batalha [Rusk et al. 2008], [Mitnik, Nussbaum & Soto 2008], [Benitti 2012]. Assim, para envolver o maior grupo possível é benéfico ir além do tradicional carrinho, criando atividades mais abrangentes, por exemplo, com marionetes ou esculturas interativas [Rusk et al. 2008], [Yanco et al. 2007], [Bers 2007].

Levando então em consideração essas questões criamos, como parte da nossa iniciativa Computação na Escola, um estande para desmistificar a computação física (especialmente a programação) e, ao mesmo tempo, motivar e estimular o interesse em aprender mais sobre computação. Foi desenvolvido um conjunto de atividades interativas recreacionais, mostrando como pode ser fácil e interessante criar programas usando ambientes de programação visuais. O público-alvo da exposição são crianças do ensino fundamental, mas nossa experiência mostrou que os adolescentes e adultos também se interessaram pelas atividades.

2. Robô Programável Interativo

Para chamar a atenção dos visitantes, exploramos a atratividade da computação física com um robô programável interativo em forma de minion (<http://dictionary.cambridge.org/pt/dicionario/ingles/minion>). O robô, com pouco mais de um metro de altura, acompanha os visitantes com os olhos (detectando sua presença por meio de sensores de ultrassom), levanta o braço para oferecer uma banana, acende um LED da arma de brinquedo e faz diferentes barulhos (<https://www.youtube.com/watch?v=IVsh5Wyp-Ms>).



Figura 1. Robôs programáveis interativos no estande

O robô é programado usando Scratch 2 [Scratch 2007] ou Snap! [Harvey e Mönig 2015], comandando um microcontrolador Arduino Nano. A fim de permitir uma melhor visualização do funcionamento do robô, além de facilitar a compreensão e aprendizagem, foram desenvolvidas duas ferramentas especiais para a construção e o controle de dispositivos físicos por Scratch/Snap!:

- Scratchboard (www.computacaonaescola.ufsc.br/scratchboard): uma placa de conexão para o Arduino Nano, de baixo custo e fácil de usar, que permite

construir rapidamente dispositivos físicos, com componentes ligados por conectores telefônicos.

- Scratchduino (www.computacaonaescola.ufsc.br/scratchduino): uma extensão da linha de comando s2a_fm (Scratch para Firmata), um tradutor de protocolo originalmente desenvolvido por Yorinks (2013). Isso também facilitou a conexão ao Scratch e Snap! em oficinas de computação física realizadas no Brasil [Gresse von Wangenheim et al. 2017]. A Figura 2 ilustra a integração dessas ferramentas.

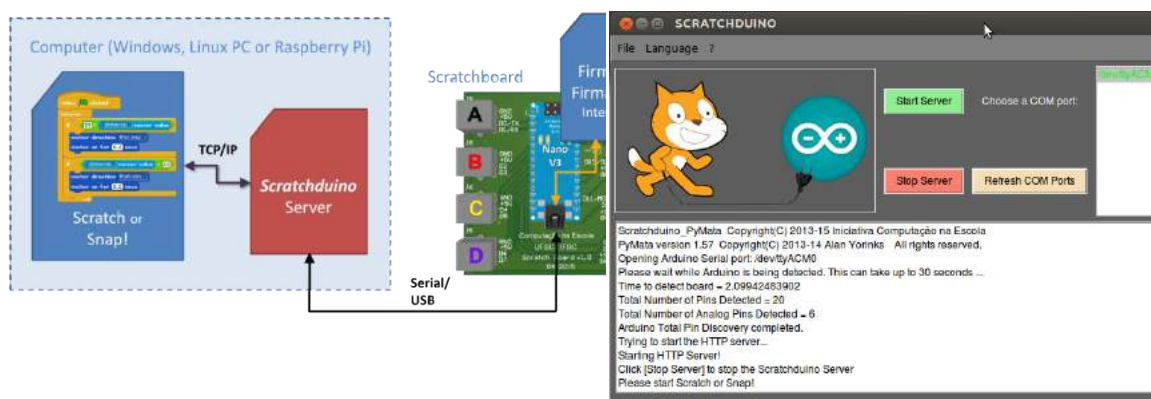


Figura 2. Esquema operacional do Scratchduino/Scratchboard e Scratchduino GUI

Este ambiente é usado para programar o controle de vários componentes de hardware (LEDs, sensor de ultrassom, motor) do robô ilustrado na Figura 3.



Figura 3. O robô por dentro

As funções do robô podem ser facilmente programadas usando Scratch 2 [Scratch 2007] ou Snap! [Harvey e Mönig, 2015] (Figura 4).



Figura 6. Construção do robô grande

Tabela 1. Custos do Robô

	Custo aproximado em US\$	
	Robô grande	Robô pequeno
Componentes de Hardware		
Placa Arduino Nano	20.00	20.00
Servomotor	2.99	2.99
Sensor de ultrassom	8.49	--
LEDs	0.50	1.00
Alto-falantes	16.00	--
Placa Scratchboard	8.00	8.00
Cabos	3.00	3.00
Estrutura e vestuário do robô		
Canos de PVC	20.00	--
Bacia	10.00	--
Peças plásticas (Atto)	--	40.00
Filamento para impressão 3 D	50.00	--
Esponja	50.00	0.50
Feltro	5.00	2.50
Bolas de isopor	4.00	--
Arma de brinquedo	12.50	--
Cabos	5.00	1.00
Tinta spray	20.00	--
Zíper	--	0.50
Óculos de brinquedo	--	2.99
Cola quente e outros	8.00	2.00
Total	243.48	84.48

3. Experiência de Aplicação

Os robôs foram apresentados na Semana de Ensino, Pesquisa e Extensão (SEPEX) (<http://sepex.ufsc.br>) na Universidade Federal de Santa Catarina, de 11 a 14 de novembro de 2015 em Florianópolis, um dos maiores eventos de divulgação científica

do Estado de Santa Catarina. Durante a SEPEX, nosso estande foi visitado por aproximadamente 4 mil pessoas, incluindo muitas turmas de escolas de ensino fundamental e médio. Como um evento aberto ao público em geral, também foi visitado por muitos pais com filhos, estudantes universitários e professores. Observamos que o estande atraiu também muitas meninas (as de menor idade, mas também as do ensino médio), que pareciam especialmente atraídas pelo robô grande.



Figure 7. Visitantes no estande

Os robôs customizados foram considerados uma maneira convidativa para atrair visitantes. Várias crianças chegavam à entrada da feira já perguntando onde encontrar os minions. Também presenciávamos a curiosidade dos visitantes que passavam no corredor e trazendo também outras pessoas para mostrar os robôs.

Com relação aos objetivos de aprendizagem, observamos que foi muito fácil para as crianças (até mesmo para as menores) entender comandos simples do programa que controla os robôs. Sob a orientação dos facilitadores, os visitantes puderam mudar as ações robô pequeno, experimentando assim primeiras experiências de programação. Conceitos de programação foram apresentados de forma informal, não adotando uma metodologia instrucional formal.

O grau de engajamento com a exposição variou largamente. Alguns visitantes apenas se aproximaram da exposição para tirar uma foto com o robô, ou observaram passivamente outros visitantes interagindo com os robôs. Outros apenas estavam interessados em conhecer o estande, computação e/ou nossa iniciativa. No entanto, um grande número parou para interagir ativamente com o estande, para entender o programa e tentar mudar as ações dos robôs, programando-os. Os visitantes

permaneceram no estande aproximadamente de 1 a 15 minutos. Algumas crianças também retornavam várias vezes para continuar a explorar o estande.

Medindo a satisfação dos visitantes por meio de um terminal de *feedback* simples com quatro botões, foi possível verificar que a grande maioria dos visitantes que deixaram sua opinião considerou o estande excelente (Fig. 8).



Figura 8a. Medidor de opinião

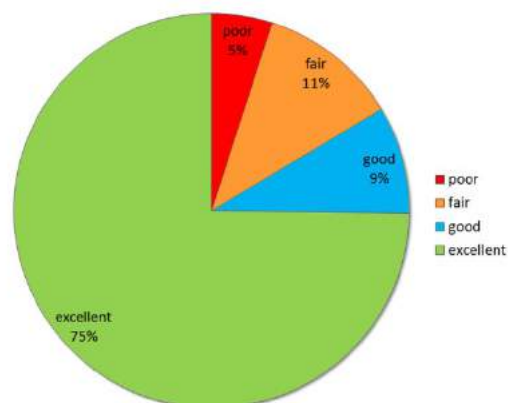


Figura 8b. Avaliação dos visitantes do estande

Foi possível observar também que a experiência no estande estimula o interesse pela computação, já que muitos visitantes (crianças e adultos) perguntavam como poderiam aprender mais por meio de aulas ou oficinas, além de buscarem informações para levar atividades dessa natureza para suas escolas.

4. Conclusão

A experiência relatada mostra que a oferta de tais estandes ao público em geral pode ser uma alternativa convidativa, apreensível e atraente para popularizar a computação com baixo custo. É claro que nessas experiências de 5 minutos não se espera que as pessoas aprendam a programar e, portanto, não enfoca no ensino de robótica e conceitos de programação, mas sim em dar aos visitantes uma experiência positiva e prática que possa inspirá-los para aprender mais sobre programação de computadores e robótica. Em geral o objetivo do estande é que os visitantes se afastem pensando: “Eu programei um robô hoje! Consigo fazer isso! Foi divertido e eu quero aprender mais!”.

Agradecimentos

Agradecemos a todos os membros da iniciativa Computação na Escola que ajudaram durante a SEPEX. Este trabalho foi financiado pelo CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), uma entidade do governo brasileiro focado no desenvolvimento científico e tecnológico, do Programa da Iniciação à Pesquisa Institucional (BIPI/UFSC) e do programa *Google Rise Award*.

Referências

Allen, S. (2004). Designs for Learning: Studying Science Museum Exhibits That Do More Than Entertain. *Science Education - Wiley Periodicals*, 88, S1, S17-S33.

- Arduino (2016). <https://www.arduino.cc/>. Dezembro.
- Batista, E. J. S., et al. (2015). Utilizando o Scratch como ferramenta de apoio para desenvolver o raciocínio lógico das crianças do ensino básico de uma forma multidisciplinar. In: Anais do XXII Workshop sobre Educação em Computação, Recife/PE.
- Benitti, F. B. V. (2012) “Exploring the educational potential of robotics in schools: A systematic review”. *Computers & Education*, 58(3), p. 978-988.
- Bers, M. U. (2007) “Project InterActions: A Multigenerational Robotic Learning Environment.” *Journal on Science Education and Technology*, 16, p. 537–552.
- Bers, M. U. and Urrea, C. (2000) “Technological prayers: parents and children exploring robotics and values”. In: *Robots for kids: exploring new technologies for learning*. Edited by A. Druin & J. Hendler.
- Blikstein, P. (2013) “Gears of Our Childhood: Constructionist Toolkits, Robotics, and Physical Computing, Past and Future”. (IDC), New York, NY, USA.
- CSTA Standards Task Force (2011). “CSTA K-12 Computer Science Standards”. New York, NY, USA.
- Eguchi, A. (2010) “What is educational robotics? Theories behind it and practical implementation”. In: *Proc. of the Int. Conf. of the Society for Information Technology & Teacher Education*, Chesapeake, VA, USA, p. 4006-4014.
- Falk, J.H., Dierking, L.D., Foutz, S. (eds.) (2007). *In Practice: Museums as Learning Institutions*. AltaMira Press, Lanham, MD.
- Gresse von Wangenheim, C., von Wangenheim, A., Pacheco, F. S., Hauck, J. C. R., Ferreira, M. N. F. Teaching Physical Computing in Family Workshops. *ACM Inroads*, 8(1), 48-51, 2017.
- Harvey, B. and Mönig, J. (2015). “Snap! (Build Your Own Blocks) 4.0”. <http://snap.berkeley.edu/> Novembro.
- Horn, M.S., Solovey, E. T., Jacob, R.J.K. (2008). Tangible Programming and Informal Science Learning: Making TUIs Work for Museums. In *Proceedings of the 7th International Conference on Interaction Design and Children*, Chicago, IL/USA.
- Humphrey, T. et al. (2005). *Fostering Active Prolonged Engagement: The Art of Creating APE Exhibits*. Left Coast Press.
- Karim, M. E., Lemaignan, S., Mondada, A. (2015) “Review: Can robots reshape K-12 STEM education?”. In: *Proc. of the 2015 IEEE International Workshop on Advanced Robotics and its Social Impacts*, Lyon, France.
- Maton-Howarth, M. (1990). “Knowing objects through an alternative learning system”. In S. Pearce (ed.) *Objects of Knowledge*. London: The Athlone Press, 174-203.
- Mitnik, R., Nussbaum, M., and Soto, A. (2008) “An autonomous educational mobile robot mediator”. *Autonomous Robots*, 25(4), p. 367-382.
- National Research Council (2009) *Learning science in informal environments: People, places, and pursuits*. The National Academies Press, Washington, DC.

- O'Sullivan, D. and Igoe, T. "Physical Computing – Sensing and Controlling the Physical World with Computers, Boston". MA: Thomson Course Technology. 2004.
- Padir, T. and Chernova, S. (2013) "Guest Editorial - Special Issue on Robotics Education". *IEEE Transactions on Education*, 56(1), p. 1-2.
- Pekarik, A. et al. (1999). Exploring Satisfying Experiences in Museums. Curator: The Museum Journal, 42(2), 152-173.
- Pinho, G. et al. (2016). Pensamento Computacional no Ensino Fundamental: Relato de Atividade de Introdução a Algoritmos. In: Anais do XXII Workshop sobre Educação em Computação, Uberlândia/MG.
- Physical Computing with Raspberry Pi. <https://www.raspberrypi.org/help/physical-computing/>
- Raspberrypi (2016). <https://www.raspberrypi.org/>. Dezembro.
- Robocup Junior (2016). <http://rcj.robocup.org/>. Dezembro.
- Rusk, N. et al. (2008) "New pathways into robotics: Strategies for broadening participation". *Journal of Science Education and Technology*, 17(1), p. 59-69.
- Scratch (2007). Scratch - Imagine, Program, Share. <https://scratch.mit.edu/>. Dezembro.
- Silva de Oliveira, M. L. et al. (2014) Ensino de lógica de programação no ensino fundamental utilizando o Scratch: um relato de experiência. In: Anais do XXII Workshop sobre Educação em Computação, Brasília/DF.
- Silva, T. R. et al. (2016). Um relato de experiência da aplicação de videoaulas de programação de jogos digitais para alunos da educação básica. In: Anais do XXII Workshop sobre Educação em Computação, Uberlândia/MG.
- Ucko, D. A. (1985). Science Literacy and Science Museum Exhibits. Curator – the Museum Journal, 28(4), 287–300.
- Vandevelde, C. et al. (2013) "Overview of technologies for building robots in the classroom". In: Proc. of the Int. Conference on Robotics in Education, Lodz, Poland, p. 122-130.
- Yanco, H. A. et al. (2007) "Artbotics: Combining Art and Robotics to Broaden Participation in Computing". In: Proc. of the AAAI Spring Symposium: Semantic Scientific Knowledge Integration.
- Yorinks, A. (2013). MrYsLab/s2a_fm. https://github.com/MrYsLab/s2a_fm. Novembro.

Evolução de um Modelo de Avaliação de Jogos para o Ensino de Computação

Giani Petri^{1,2}, Christiane Gresse von Wangenheim¹, Adriano Ferreti Borgatto¹

¹Grupo de Qualidade de Software (GQS) – Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação (PPGCC) – Departamento de Informática e Estatística (INE) – Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) – Florianópolis – SC – Brasil

²Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) – Santa Maria – RS – Brasil
gpetri@inf.ufsm.br, {c.wangenheim, adriano.borgatto}@ufsc.br

Abstract. *Educational games are assumed to be an efficient instructional strategy for computing education. However, it is essential to systematically evaluate such games in order to obtain sound evidence on their quality. A prominent model for the evaluation of educational games is MEEGA (Model for the Evaluation of Educational Games). However, analyzing the initial version we have identified limitations in terms of its validity and reliability. Therefore, the objective of this paper is to present an evolution of the model, MEEGA+. The MEEGA+ model has been systematically developed by decomposing evaluation goals into measures and defining measurement instruments to evaluate the perceived quality of educational games in terms of player experience and perceived learning from the viewpoint of the student and instructor. The model, thus, assists game creators, instructors and/or researchers to evaluate educational games and, hence, contribute to their improvement and adoption in practice.*

Resumo. *Jogos educacionais são considerados uma estratégia instrucional eficiente para o ensino de computação. No entanto, é essencial sistematicamente avaliar esses jogos a fim de obter evidências de sua qualidade. Um modelo de avaliação de jogos educacionais que têm se destacado é o MEEGA (Model for the Evaluation of Educational Games). No entanto, analisando a versão inicial identificou-se limitações em sua validade e confiabilidade. Assim, o objetivo deste trabalho é apresentar uma evolução do modelo, MEEGA+. O modelo MEEGA+ é sistematicamente desenvolvido decompondo o objetivo da avaliação em medidas e definindo instrumentos de medição para avaliar a qualidade de jogos em termos de experiência do jogador e percepção da aprendizagem do ponto de vista do aluno e instrutor. O modelo auxilia criadores de jogos, instrutores e/ou pesquisadores a avaliar jogos educacionais e, assim, contribuir para sua melhoria e adoção na prática.*

1. Introdução

Nos últimos anos, jogos educacionais estão sendo utilizados como uma estratégia instrucional inovadora para o ensino de computação [Calderón e Ruiz, 2015; Battistella

e Gresse von Wangenheim, 2016; Souza e França, 2016; Petri e Gresse von Wangenheim, 2017]. Esses jogos educacionais são projetados especificamente para ensinar as pessoas sobre um determinado assunto, expandir conceitos, reforçar o desenvolvimento, ou ajudá-los a explorar ou aprender uma habilidade ou uma mudança de atitude [Dempsey et al., 1996]. Motivados pela necessidade de fornecer mais oportunidades práticas para os estudantes de computação, uma grande variedade de jogos educacionais já foi desenvolvida [Battistella e Gresse von Wangenheim, 2016; Petri e Gresse von Wangenheim, 2017]. A maioria dos jogos desenvolvidos são digitais, com uma tendência também em jogos não-digitais (de tabuleiros, cartas, etc.) para o ensino de diversas áreas de conhecimento da computação, com ênfase nas áreas de engenharia de software, fundamentos de desenvolvimento de software e algoritmos [Battistella e Gresse von Wangenheim, 2016; Petri e Gresse von Wangenheim, 2017].

Assim, considera-se que os jogos educacionais possam ser uma estratégia instrucional eficaz e eficiente para o ensino de computação. No entanto, estas alegações são questionáveis ou não rigorosamente comprovadas [Gresse von Wangenheim e Shull, 2009; Caulfield et al., 2011; Petri e Gresse von Wangenheim, 2017]. Na prática, os jogos para o ensino de computação necessitam mostrar o impacto esperado de aprendizagem e/ou o engajamento que eles prometem [Caulfield et al., 2011]. Portanto, é essencial avaliar sistematicamente a qualidade desses jogos, a fim de obter provas sólidas sobre a sua qualidade [Gresse von Wangenheim e Shull, 2009; Caulfield et al., 2011; Petri e Gresse von Wangenheim, 2017]. Neste contexto, foram realizados alguns trabalhos para obter evidências empíricas da qualidade e do impacto dos jogos na aprendizagem dos alunos [Gresse von Wangenheim e Shull, 2009; Caulfield et al., 2011; Calderón e Ruiz, 2015; Petri e Gresse von Wangenheim, 2017]. No entanto, os resultados dos trabalhos mostram que a maioria das avaliações de jogos educacionais são realizados de forma *ad-hoc* em termos de design de pesquisa, medição, coleta de dados e análise, evidenciando assim a falta de rigor científico nas avaliações [Calderón e Ruiz, 2015; Petri e Gresse von Wangenheim, 2017].

Neste contexto, para fornecer um apoio mais sistemático, até agora houve poucas tentativas de desenvolver abordagens para avaliar a qualidade de jogos educacionais [Petri e Gresse von Wangenheim, 2016]. Entre os modelos utilizados para a avaliação de jogos, o modelo MEEGA (*Model for the Evaluation of Educational Games*) [Savi et al., 2011] é identificado como um dos mais utilizados na prática [Calderón e Ruiz, 2015; Petri e Gresse von Wangenheim, 2016; Petri e Gresse von Wangenheim, 2017]. MEEGA é um modelo desenvolvido para a avaliação de jogos educacionais por meio da aplicação de um questionário padronizado após os estudantes utilizarem o jogo. O modelo é desenvolvido usando a abordagem GQM (*Goal/Question/Metric*) [Basili et al., 1994] para definir explicitamente um programa de medição para avaliar os jogos em três fatores: motivação, experiência do usuário e aprendizagem do ponto de vista do aluno. A partir dos fatores definidos é desenvolvido um questionário para a coleta de dados. No entanto, analisando a confiabilidade e validade, identificou-se que o modelo MEEGA apresenta algumas limitações em sua concepção e avaliação. As limitações são evidenciadas no resultado da análise de sua validade que indica uma decomposição diferente da estrutura original do MEEGA, com sobreposição de alguns conceitos entre os fatores de motivação e experiência do usuário,

além da falta de compreensão dos alunos de alguns itens do instrumento de medição [Petri et al., 2017].

Diante disso, o objetivo deste trabalho é apresentar o modelo MEEGA+, uma evolução do modelo MEEGA.

2. Metodologia

Com o objetivo de evoluir a versão inicial do modelo MEEGA, é adotada uma metodologia de pesquisa multimétodo, conforme apresentado na Figura 1.

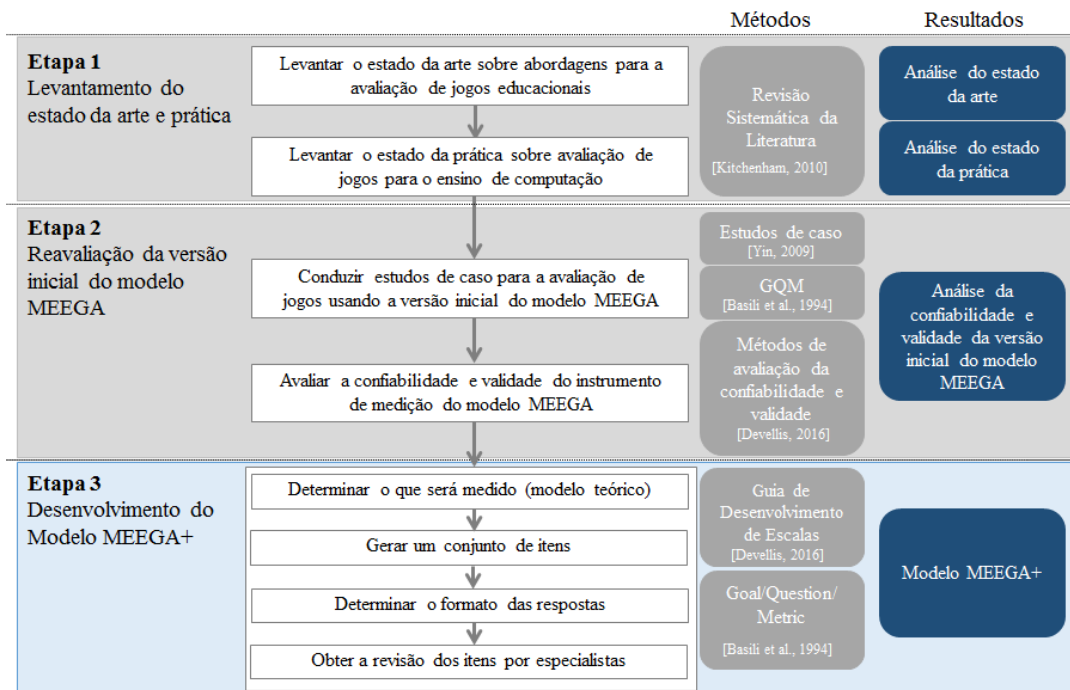


Figura 1. Metodologia de pesquisa

Etapa 1 - Levantamento do Estado da Arte e Prática. Inicialmente, foi realizado um levantamento do estado da arte sobre as abordagens existentes para sistematicamente avaliar os jogos educacionais. Como resultado, identificou-se que há poucas abordagens para avaliar jogos. Além disso, a maioria das abordagens não fornecem uma explícita definição de um objetivo de avaliação, medidas ou instrumento de coleta de dados [Petri e Gresse von Wangenheim, 2016]. Adicionalmente, também foi realizado um levantamento do estado da prática sobre como os jogos para o ensino de computação são avaliados. Como resultado observou-se que a maioria das avaliações são realizadas de maneira *ad-hoc* em termos de design de pesquisa, medição, coleta e análise de dados, evidenciando a falta de rigor científico nas avaliações realizadas [Petri e Gresse von Wangenheim, 2017]. Os resultados e a descrição detalhada de cada uma das revisões da literatura podem ser encontrados em [Petri e Gresse von Wangenheim, 2016; Petri e Gresse von Wangenheim, 2017].

Etapa 2 – Reavaliação da versão inicial do Modelo MEEGA. De modo a reavaliar em larga-escala a versão inicial do modelo MEEGA, foi realizado um estudo de caso. O estudo de caso analisou 1000 dados coletados de 60 estudos que reportaram a avaliação de um jogo usando o modelo MEEGA. Com base nos dados foi analisado o modelo MEEGA em termos de confiabilidade e validade. Os resultados indicam que o

questionário do modelo MEEGA é aceitável em termos de confiabilidade (alfa de Cronbach = 0,915). No entanto, em termos de validade, a análise fatorial indicou uma decomposição diferente da estrutura original do MEEGA, que é composto por três fatores (motivação, experiência do usuário e aprendizagem). Isto indica que alguns conceitos entre os fatores de motivação e experiência do usuário se sobrepõem e então, precisam ser reagrupados. A descrição detalhada do estudo de caso e da análise podem ser encontrados em [Petri et al., 2017].

Etapa 3 – Desenvolvimento do Modelo MEEGA+. Nesta etapa o modelo MEEGA+ é desenvolvido, levando em consideração o levantamento do estado da arte (Etapa 1) e os resultados da reavaliação do modelo MEEGA (Etapa 2). O desenvolvimento do modelo MEEGA+ segue as etapas do guia de desenvolvimento de escalas proposto por DeVellis (2016):

Determinar o que será medido (modelo teórico). De modo a sistematicamente definir um programa de medição a abordagem GQM [Basili et al., 1994] é utilizada. Com base na abordagem GQM o objetivo da avaliação é definido, bem como a decomposição sistemática do objetivo da avaliação em fatores de qualidade a serem medidos (modelo teórico) e em itens do instrumento de medição.

Gerar um conjunto de itens. Com base no modelo teórico definido, adotando a abordagem GQM, os fatores do modelo teórico são sistematicamente decompostos em itens de questionário. Deste modo, o conjunto dos itens do instrumento de medição estão relacionados a um fator a ser medido e alinhados ao modelo teórico.

Determinar o formato das respostas. Nesta etapa, o formato de resposta para os itens do instrumento de medição é definido.

Obter a revisão dos itens por especialistas. Esta etapa objetiva analisar a validade aparente do instrumento de medição do ponto de vista de especialistas.

As etapas de administrar os itens para um grupo de indivíduos e análise de desempenho do instrumento de medição estão em fase de execução e estão fora do escopo deste artigo.

3. O Modelo MEEGA+

Esta seção apresenta o modelo MEEGA+, uma evolução do modelo MEEGA voltado para a avaliação da qualidade de jogos educacionais para o ensino de computação. Por falta de uma definição comumente aceita sobre qualidade de jogos educacionais, neste trabalho, entende-se que um jogo de qualidade possui os objetivos educacionais bem definidos, promove a aprendizagem de conteúdos e uma agradável experiência aos jogadores.

O objetivo do modelo MEEGA+ é: analisar *jogos educacionais* com o propósito de avaliar a *percepção da qualidade* em termos de *experiência do jogador e percepção da aprendizagem* do ponto de vista de *alunos e instrutores* no contexto de *cursos superiores da área de computação*. A partir do objetivo de avaliação, são derivadas as medidas referentes aos dados a serem coletados durante o estudo para que se atinja o objetivo da avaliação. Esta definição é feita por meio de uma decomposição hierárquica, realizada com base na revisão da literatura e na avaliação da versão inicial do modelo MEEGA.

O fator de qualidade referente a experiência do jogador é definido com base na revisão da literatura (Etapa 1 da metodologia). Embora observa-se a falta de um padrão consistente dos fatores de qualidade a serem avaliados, há uma tendência que abrange um conjunto de fatores de qualidade relacionados principalmente à motivação, experiência do usuário, usabilidade, engajamento e apreciação (*enjoyment*) [Petri e Gresse von Wangenheim, 2017]. Esses fatores de qualidade ainda estão fragmentados em dimensões que se sobrepõem conceitualmente, como por exemplo, os fatores imersão e atenção focada. Além disso, os resultados obtidos na análise fatorial na avaliação da versão inicial do modelo MEEGA mostram que os conceitos de motivação e experiência do usuário se sobrepõem. Assim, é realizado um mapeamento para identificar as dimensões semelhantes. Os detalhes do mapeamento estão apresentados em [Petri et al., 2016]. A partir do mapeamento, define-se para o modelo MEEGA+ o fator de qualidade de experiência do jogador composto por um conjunto de dimensões: atenção focada, diversão, desafio, interação social, confiança, relevância, satisfação e usabilidade.

A usabilidade ainda está fragmentada em cinco subdimensões: aprendizibilidade, operabilidade, estética, acessibilidade e proteção de erro do usuário. Em relação a acessibilidade (subdimensão da usabilidade), o modelo MEEGA+ se concentra em avaliar se o jogo é acessível por pessoas com deficiência visual baixa/moderada e/ou com daltonismo. Esta decisão é tomada com base que o número de pessoas com deficiência visual baixa/moderada representa 15,1% da população brasileira [IBGE, 2012]. A subdimensão de proteção de erro de usuário é usada exclusivamente para avaliar jogos educacionais digitais. Assim, ao avaliar jogos não-digitais esta subdimensão deve ser desconsiderada.

O fator de qualidade em relação à aprendizagem percebida é refinado em duas dimensões. A avaliação da aprendizagem de curto prazo baseia-se no modelo de avaliação de Sindre e Moody (2003). O objetivo desta dimensão é avaliar o efeito global do jogo sobre a aprendizagem dos alunos no curso [Sindre e Moody, 2003]. A avaliação da dimensão dos objetivos de aprendizagem é personalizada de acordo com os objetivos de aprendizagem de cada jogo educacional. Tipicamente, os jogos para o ensino de computação são usados para melhorar o conhecimento sobre os níveis cognitivos de lembrança, compreensão e aplicação [ACM/IEEE-CS, 2013] de acordo com a versão revisada da taxonomia de Bloom [Anderson et al., 2001]. Estes três níveis de aprendizagem são considerados, pois representam o conhecimento que pode ser aprendido durante um curso de graduação [ACM/IEEE-CS, 2013]. No entanto, o modelo MEEGA+ também é flexível para cobrir os objetivos de avaliação em outros níveis cognitivos tais como: análise, avaliação e criação. Além do conhecimento técnico, os jogos também podem contribuir para o desenvolvimento de um conjunto de habilidades, tais como a resolução de problemas, comunicação interpessoal, trabalho em equipe, liderança, entre outros [ACM/IEEE-CS, 2013]. Tais objetivos de aprendizagem visam a mudança e/ou o desenvolvimento de comportamentos ou habilidades. Eles podem ser classificados em níveis de acordo com a taxonomia de Bloom do domínio psicomotor [Simpson, 1972]. Além disso, os jogos podem contribuir também para o desenvolvimento de atitudes profissionais, tais como o comportamento do estudante, considerando as questões profissionais, bem como uma atitude ética na profissão [ACM/IEEE-CS, 2013]. Objetivos de aprendizagem são tipicamente relacionados a

melhoria de atitudes, emoções e sentimentos e podem ser classificados nos níveis da taxonomia de Bloom do domínio afetivo [K Rathwohl et al., 1973].

Desta forma, a decomposição hierárquica dos fatores de qualidade em dimensões/subdimensões resulta no modelo teórico (Figura 2).

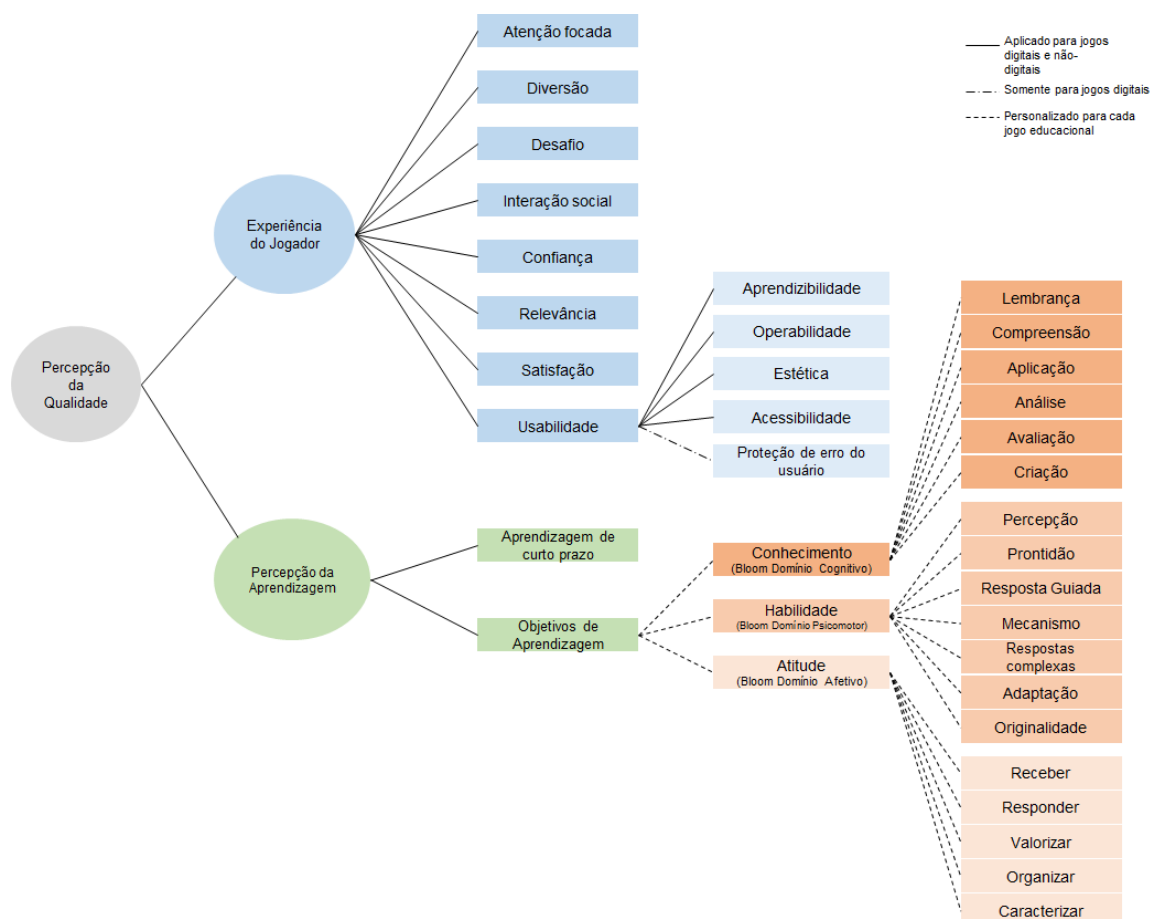


Figura 2. Decomposição dos fatores de qualidade

Hipótese e estratégia de pesquisa. A hipótese é que o jogo educacional contribui positivamente para a unidade instrucional, atinge seus objetivos de aprendizagem e promove uma agradável experiência ao jogador. A estratégia de pesquisa é selecionada com base no objetivo da avaliação e nas restrições práticas típicas das unidades instrucionais de ensino de computação. Isto significa que deve ser possível realizar a avaliação de forma rápida e não intrusiva, minimizando a interrupção do fluxo normal da aula. Portanto, opta-se pela realização de estudos de caso que permite uma pesquisa aprofundada de um indivíduo, grupo ou evento [Yin, 2009]. O design de pesquisa é definido como não-experimental com pós-teste (*one-shot post-test only design*) com um único grupo. Neste tipo de pesquisa, o estudo de caso começa com a aplicação do tratamento (jogo educacional) e, em seguida, um questionário é respondido pelos alunos para a coleta dos dados. Adotando esta estratégia de pesquisa, o objetivo da avaliação é avaliado com base nas percepções dos alunos (qualidade percebida) por meio de um questionário respondido após a aplicação do jogo em acordo com o objetivo de avaliação no nível 1 do modelo de Kirkpatrick [Kirkpatrick e Kirkpatrick, 2006].

Desenvolveu-se um instrumento de medição seguindo o método proposto por DeVellis (2016). O questionário é desenvolvido com base no modelo teórico (Figura 2), personalizando e unificando os questionários padrões existentes na literatura [Keller, 1987; Tullis e Albert, 2008; Sindre e Moody, 2003; Sweetser e Wyeth, 2005; Poels et al. 2007; Gámez, 2009; Takatalo et al., 2010; O'Brien e Toms, 2010; Wiebe et al., 2014; Sweetser e Wyeth, 2005; Fu, Su, e Yu, 2010; Brooke, 1996; Davis, 1989]. A descrição detalhada do questionário está disponível em [Petri et al., 2016]. O formato de resposta para cada um dos itens do instrumento de medição é baseado em uma escala de Likert de 5 pontos com alternativas de resposta que variam de discordo totalmente a concordo totalmente [DeVellis, 2016]. A parte inicial do questionário do modelo MEEGA+ objetiva coletar informações demográficas para identificar o perfil dos alunos. Os itens do questionário que objetivam coletar dados sobre o fator de qualidade de experiência do jogador, quando da avaliação de jogos não-digitais do ponto de visto do aluno, são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Itens do questionário para a avaliação da experiência do jogador (jogos não-digitais)

No.	Dimensão/Subdimensão	Descrição do Item
1		Houve algo interessante no início do jogo que capturou minha atenção.
2	Atenção focada	Eu estava tão envolvido no jogo que eu perdi a noção do tempo.
3		Eu esqueci sobre o ambiente ao meu redor enquanto jogava este jogo.
4	Diversão	Eu me diverti com o jogo.
5		Aconteceu alguma situação durante o jogo (elementos do jogo, competição, etc.) que me fez sorrir.
6		Este jogo é adequadamente desafiador para mim.
7	Desafio	O jogo oferece novos desafios (oferece novos obstáculos, situações ou variações) com um ritmo adequado.
8		O jogo não se torna monótono nas suas tarefas (repetitivo ou com tarefas chatas).
9		Eu pude interagir com outras pessoas durante o jogo.
10	Interação social	O jogo promove momentos de cooperação e/ou competição entre os jogadores.
11		Eu me senti bem interagindo com outras pessoas durante o jogo.
12	Confiança	Quando olhei pela primeira vez o jogo, eu tive a impressão de que seria fácil para mim.
13		A organização do conteúdo me ajudou a estar confiante de que eu iria aprender com este jogo.
14		O conteúdo do jogo é relevante para os meus interesses.
15	Relevância	É claro para mim como o conteúdo do jogo está relacionado com a disciplina.
16		O jogo é um método de ensino adequado para esta disciplina.
17		Eu prefiro aprender com este jogo do que de outra forma (outro método de ensino).
18		Completar as tarefas do jogo me deu um sentimento de realização.
19	Satisfação	É devido ao meu esforço pessoal que eu consigo avançar no jogo.
20		Me sinto satisfeito com as coisas que aprendi no jogo.
21		Eu recomendaria este jogo para meus colegas.
22	Estética	O design do jogo é atraente (interface, gráficos, tabuleiro, cartas, etc.).
23		Os textos, cores e fontes combinam e são consistentes.
24		Eu precisei aprender poucas coisas para poder começar a jogar o jogo.
25	Aprendizabilidade	Aprender a jogar este jogo foi fácil para mim.
26	Usabilidade	Eu acho que a maioria das pessoas aprenderiam a jogar este jogo rapidamente.
27	Operabilidade	Eu considero que o jogo é fácil de jogar.
28		As regras do jogo são claras e compreensíveis.
29		As fontes (tamanho e estilo) utilizadas no jogo são legíveis.
30	Acessibilidade	As cores utilizadas no jogo são compreensíveis.

Adicionalmente, quando o estudo envolve a avaliação de jogos digitais, três itens relacionados a usabilidade devem ser adicionados ao questionário, conforme apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Itens adicionais para a avaliação da experiência do jogador (jogos digitais)

No.	Dimensão/Subdimensão	Descrição do Item
31	Acessibilidade	O jogo permite personalizar a aparência (fonte e/ou cor) conforme a minha necessidade.
32	Usabilidade	O jogo me protege de cometer erros.
33	Proteção de erro do usuário	Quando eu cometo um erro é fácil de me recuperar rapidamente.

A avaliação da percepção da aprendizagem é dividida em duas dimensões (aprendizagem de curto prazo e objetivos de aprendizagem). Os itens do questionário

referentes a aprendizagem de curto prazo são padrões e utilizados para avaliar todos os jogos (digitais e não-digitais). Os itens referentes a subdimensão dos objetivos de aprendizagem devem ser customizados conforme os objetivos definidos para cada jogo educacional. No entanto, o questionário oferece um *template* de como customizar os itens do questionário, conforme o nível em que os objetivos de aprendizagem do jogo estão definidos, considerando os níveis cognitivo, psicomotor e afetivo da taxonomia de Bloom. Cada objetivo de aprendizagem do jogo deve corresponder a exatamente um item do questionário, conforme exemplo apresentado na Tabela 3.

Tabela 3. Itens do questionário para a avaliação da percepção da aprendizagem

No.	Dimensão/Subdimensão	Descrição do Item
34	Aprendizagem de curto prazo	O jogo contribuiu para a minha aprendizagem na disciplina.
35		O jogo foi eficiente para minha aprendizagem, em comparação com outras atividades da disciplina.
36	Objetivos de aprendizagem	O jogo contribuiu para <verbo conforme nível do objetivo de aprendizagem (cognitivo, psicomotor, afetivo)> <objetivo/conceito>.
...		Um exemplo conforme o objetivo de aprendizagem do jogo SCRUMIA (Gresse von Wangenheim et al., 2013): O jogo contribuiu para <i>relembrar</i> os conceitos sobre o <i>Planejamento de uma Sprint</i> .

4. Avaliação inicial do Modelo MEEGA+

Com o objetivo de avaliar a validade aparente do modelo MEEGA+ foi realizado uma avaliação inicial por meio de um painel de especialistas. O painel de especialistas é composto por um grupo multidisciplinar de especialistas (pesquisadores seniores) das áreas de computação e estatística. A revisão dos especialistas objetiva analisar a clareza, relevância, consistência e completude dos fatores/dimensões do modelo e dos itens do instrumento de medição do modelo MEEGA+.

Uma reunião foi agendada com cada especialista de modo a apresentar e explicar o desenvolvimento do modelo MEEGA+ e do instrumento de medição. Para facilitar a análise, cada especialista também recebeu uma cópia impressa da decomposição dos fatores do modelo (Figura 2), bem como, do instrumento de medição. Na sequência, os especialistas analisaram e avaliaram o modelo MEEGA+ e o instrumento de medição.

De modo geral, os especialistas confirmaram a relevância do modelo MEEGA+ para a área de pesquisa, pelo fato de, atualmente, existir uma carência no rigor científico aplicado na avaliação de jogos educacionais. De mesmo modo, os especialistas também confirmaram a completude, indicando que o modelo representa os fatores importantes para a avaliação da qualidade dos jogos educacionais. Além disso, os especialistas também indicaram a clareza e a consistência na decomposição dos fatores que teve como base a revisão da literatura e a análise da versão inicial do modelo, bem como, a descrição dos itens do instrumento de medição. No entanto, algumas alterações na redação e na formatação do texto dos itens foram sugeridas pelos especialistas. Todas as sugestões de alteração dos itens foram consideradas na versão final do instrumento de medição do modelo MEEGA+.

5. Conclusão

Este artigo apresenta o desenvolvimento do modelo MEEGA+, uma evolução do modelo MEEGA, atualmente o modelo de avaliação de jogos educacionais mais utilizado na prática. O modelo MEEGA+ é sistematicamente desenvolvido decompondo o objetivo da avaliação em medidas e definindo um instrumento de medição para avaliar

a percepção da qualidade de jogos educacionais em termos de experiência do jogador e percepção da aprendizagem com base na literatura e experiências práticas. Como próxima etapa desta pesquisa, está sendo realizado diversos estudos de caso para a avaliação de vários jogos educacionais em diferentes cursos/instituições de ensino, de modo a coletar dados para avaliar a confiabilidade e validade do modelo MEEGA+.

Agradecimentos

Este trabalho é apoiado pelo CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), uma entidade do governo brasileiro focada no desenvolvimento científico.

Referências

- ACM/IEEE-CS. (2013). Computer Science Curricula 2013: Curriculum Guidelines for Undergraduate Degree Programs in Computer Science. Disponível em: <<https://www.acm.org/education/CS2013-final-report.pdf>> Acesso: 17 outubro 2016.
- Anderson, L. W., Krathwohl, D. R., e Bloom, B. S. (2001). A taxonomy for learning, teaching, and assessing: a revision of Bloom's taxonomy of educational objectives. Longman.
- Basili, V. R., Caldiera, G., e Rombach, H. D. (1994). Goal, Question Metric Paradigm. In J. J. Marciniak, Encyclopedia of Software Engineering. New York, USA.
- Battistella, P. e Wangenheim, C. G. (2016). Games for Teaching Computing in Higher Education – A Systematic Review. In *IEEE Technology and Engineering Education Journal*, 9(1), 8-30.
- Brooke, J. (1996). SUS-A quick and dirty usability scale. In *Usability evaluation in industry*, 189(194), 4-7.
- Calderón A. e Ruiz M. (2015). A systematic literature review on serious games evaluation: An application to software project management. In *Computers & Education*, 87, 396-422.
- Caulfield, C., Xia, J., Veal, D., e Maj, S. P. (2011). A systematic survey of games used for software engineering education. In *Modern Applied Science*, 5(6), 28-43.
- Davis, F. D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS quarterly*, p. 319-340.
- Dempsey, J., Rasmussen, K., e Lucassen, B. (1996). The instructional gaming literature: Implications and 99 sources. Technical Report 96-1. College of Education, University of South Alabama, USA.
- DeVellis, R. F. (2016). Scale development: theory and applications. 4. ed. SAGE Publications.
- Fu, F., Su, R., e Yu, S. (2009). EGameFlow: A scale to measure learners' enjoyment of e-learning games. In *Computers & Education*, 52(1), 101-112.
- Gámez, E. H. (2009). On the Core Elements of the Experience of Playing Video Games (Dissertation). UCL Interaction Centre, Department of Computer Science, London, UK.
- Gresse von Wangenheim, C. e Shull, F. (2009). To Game or Not to Game? In *IEEE Software*, 26(2), 92-94.
- Gresse von Wangenheim, C., Savi, R., e Borgatto, A. F. (2013). SCRUMIA - An educational game for teaching SCRUM in computing courses. In *Journal of Systems and Software*, 86(10), 2675-2687.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (2012). Censo Demográfico 2010: Características gerais da população, religião e pessoas com deficiência.

- Keller, J. M. (1987). Development and Use of the ARCS Model of motivational Design. In *Journal of Instructional Development*, 10(3), 2-10.
- Kirkpatrick, D. L. e Kirkpatrick, J. D. (2006). Evaluating training programs: the four levels, 3. ed. Berrett-Koehler Publishers, USA.
- Kitchenham, B. (2010). Systematic literature reviews in software engineering – A tertiary study. *Information and Software Technology*, v. 52, n. 1, p. 792-805.
- Krathwohl, D. R.; Bloom, B. S.; e Masia, B. B. (1973). Taxonomy of Educational Objectives, the Classification of Educational Goals. Handbook II: Affective Domain. Nova York, EUA, 1973.
- O'Brien, H. L. e Toms, E. G. (2010). The Development and Evaluation of a Survey to Measure User Engagement. In *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 61(1), 50–69.
- Petri, G. e Gresse von Wangenheim, C. (2016). How to Evaluate Educational Games: a Systematic Literature Review. In *Journal of Universal Computer Science*, 22(7), 992-1021.
- Petri, G. e Gresse von Wangenheim, C. (2017). How games for computing education are evaluated: a systematic literature review. In *Computers & Education*, 107, 68-90.
- Petri, G.; Gresse von Wangenheim, C., e Borgatto, A. F. (2016). MEEGA+: An Evolution of a Model of Educational Games. Relatório Técnico INCoD/GQS.03.2016.E. INCoD/INE/UFSC, Florianópolis, Brazil.
- Petri, G.; Gresse von Wangenheim, C., e Borgatto, A. F. (2017). A large-scale evaluation of a model for the evaluation of games for teaching software engineering. Proc. of the 39th Int. Conf. on Software Engineering. Buenos Aires, Argentina.
- Poels, K., Kort, Y. D., e Ijsselsteijn, W. (2007). It is always a lot of fun!: exploring dimensions of digital game experience using focus group methodology. Proc. of Conf. on Future Play, Toronto, Canada.
- Savi, R., Gresse von Wangenheim, C., e Borgatto, A. F. (2011). A Model for the Evaluation of Educational Games for Teaching Software Engineering. Proc. of the 25th Simpósio Brasileiro de Engenharia de Software, São Paulo, Brazil.
- Sindre, G. e Moody, D. (2003). Evaluating the Effectiveness of Learning Interventions: an Information Systems Case Study. Proc. of the 11th European Conf. on Information Systems, Naples, Italy.
- Souza, M. e França, C. (2016). O que Explica o Sucesso de Jogos no Ensino de Engenharia de Software? Uma Teoria de Motivação. 24º Workshop sobre Educação em Computação, 2255-2264. Porto Alegre/RS, Brasil.
- Sweetser, P. e Wyeth, P. (2005). GameFlow: a model for evaluating player enjoyment in games. In *Computers in Entertainment*, 3(3), 1-24.
- Takatalo, J., Häkkinen, J., Kaistinen, J., e Nyman, G. (2010). Presence, Involvement, and Flow in Digital Games. In: Bernhaupt, R. (Ed.). *Evaluating User Experience in Games: Concepts and Methods*, Springer.
- Tullis, T. e Albert, W. (2008). *Measuring the User Experience: Collecting, Analyzing, and Presenting Usability Metrics*. Morgan Kaufmann.
- Wiebe, E. N., Lamb, A., Hardy, M., e Sharek, D. (2014). Measuring engagement in video game-based environments: Investigation of the User Engagement Scale. In *Computers in Human Behavior*, 32, 123–132.
- Yin, R.K. (2009). *Case study research: design and methods*, 4th ed. Sage Publications, USA.

30º CTD - Concurso de Teses e Dissertações

Apresentação

O Concurso de Teses e Dissertações (CTD) é o evento do Congresso da Sociedade Brasileira de Computação (CSBC) com o objetivo de selecionar os melhores trabalhos de mestrado e doutorado na área de Computação. Em sua trigésima edição, serão premiados trabalhos defendidos nos programas de pós-graduação do país no ano de 2016.

Recebemos um número recorde de 94 submissões, sendo 43 trabalhos de doutorado e 51 de mestrado, distribuídos em: Sudeste (26 de doutorado e 25 de mestrado), Sul (9 de doutorado e 16 de mestrado), Nordeste (7 de doutorado e 8 de mestrado), Norte (1 de doutorado e 2 de mestrado) e nenhum do Centro Oeste. Cada submissão consistiu de um resumo de seis páginas acompanhado do texto completo da dissertação ou tese. O processo de seleção foi bastante desafiador em diversos aspectos, especialmente em função do número de submissões, abrangência e excelente qualidade dos trabalhos submetidos.

Este ano, o concurso adotou três fases de seleção. Na primeira delas, cada submissão foi cuidadosamente avaliada por pelo menos três membros do Comitê de Programa que fossem necessariamente especialistas na área de pesquisa do trabalho. Foram considerados a relevância e grau de dificuldade do problema abordado, os resultados obtidos, sua repercussão e impacto no estado da arte na área de Computação, a produção associada (qualificação e relevância dos veículos), entre outros elementos que pudessem avaliar porque o trabalho merecia estar entre os melhores do país. A seguir, foi realizada uma discussão entre os três avaliadores para os 22 trabalhos que apresentaram alguma discrepância entre as revisões. Considerando as três revisões, foram selecionados todos os trabalhos que tinham potencial para estar entre os melhores do país. Foram selecionados então 32 trabalhos, sendo 23 de doutorado e 9 de mestrado e distribuídos em: Sudeste (15 de doutorado e 3 de mestrado), Sul (6 de doutorado e 2 de mestrado), Nordeste (2 de doutorado e 3 de mestrado) e Norte (1 de mestrado).

Na segunda fase, um Comitê de Seleção foi cuidadosamente montado por meio do convite a pesquisadores das diversas regiões do Brasil, de áreas de pesquisa também diversas, que tivessem experiência na orientação de mestrados e doutorados, preferencialmente que não fossem de instituições que tivessem trabalhos selecionados entre os 32 e que tivessem também um histórico de contribuição na pesquisa. Um Comitê com seis membros foi então estabelecido que decidiu em selecionar em torno de 50% dos trabalhos de doutorado (11 de 23) e 50% de mestrado (5 de 9). Cada membro separadamente ranqueou os trabalhos de doutorado e os de mestrado. Em seguida, os ranqueamentos foram analisados em conjunto e então selecionados os trabalhos com mais indicação para estarem entre os melhores (ou seja, para os trabalhos de doutorado, o trabalho deveria estar entre os 11 primeiros e para os de mestrado, entre os 5 primeiros) e caso houvesse empate, os trabalhos cuja soma total (soma de sua posição dada por cada um dos membros) fossem mais baixas. Foram finalmente selecionados os 16 trabalhos a serem apresentados durante o CSBC e distribuídos em: Sudeste (8 de doutorado e 2 de mestrado), Sul (3 de doutorado e 1 de mestrado), Nordeste (1 de mestrado) e Norte (1 de mestrado). Estes anais contêm então esses trabalhos e os artigos correspondentes aqui

incluídos são versões revisadas dos artigos submetidos, conforme as recomendações dos revisores.

Finalmente, a terceira fase premiará os três melhores trabalhos em cada categoria (mestrado e doutorado), considerando também a qualidade das apresentações e arguição com uma Banca de Avaliação de especialistas na área de Computação.

Em nome da SBC e da comunidade brasileira de Computação, agradecemos imensamente a disponibilidade e comprometimento dos 112 membros do Comitê de Programa, que se dedicaram a realizar uma avaliação rigorosa dos trabalhos e também participar nas discussões adicionais. Também agradecemos imensamente aos membros do Comitê de Seleção que tiveram a dura tarefa de criteriosamente avaliar os trabalhos na segunda fase de seleção. Desde já, agradecemos à Banca de Avaliação que certamente terá também a árdua tarefa de selecionar os trabalhos premiados. Estendemos os agradecimentos aos autores dos trabalhos submetidos e aproveitamos a oportunidade para parabenizá-los, juntamente com seus orientadores, pela excelente qualidade de todos os trabalhos defendidos. Por fim, agradecemos também à SBC pela confiança e pela oportunidade em coordenarmos os trabalhos de um dos principais eventos de seu Congresso, que carrega a responsabilidade de ser uma vitrine do melhor que se produz no país na área de Computação.

Elisa Yumi Nakagawa (ICMC/USP - Coordenação Geral), Leandro Nunes de Castro (Mackenzie - Coordenação Local)

Comitê Organizador

Comitê Diretivo

Alessandro Garcia (PUC/Rio), André Soares (UFPI), Elisa Yumi Nakagawa (ICMC/USP), Ricardo da Silva Torres (UNICAMP)

Comitê de Seleção

Alba Melo (UNB), Anderson Rocha (UNICAMP), Artur Ziviani (LNCC), Carlos Maziero (UFPR), Eduardo Nakamura (UFAM), Ismar Frango Silveira (Mackenzie)

Comitê de Programa

Adenilso Simão (ICMC/USP), Agma Traina (ICMC/USP), Alba Melo (UNB), Alberto Raposo (PUC/Rio), Alceu Britto Jr (PUC/PR), Alexandre Falcão (UNICAMP), Alexandre Ferreira Ramos (USP), Ana da Silva (UFC), Anderson Maciel (UFRGS), Anderson Rocha (UNICAMP), André Soares (UFPI), André Aquino (UFAL), Angelo Brayner (UFC), Anselmo Paiva (UFMA), Aparecido Nilceu Marana (UNESP), Artur Ziviani (LNCC), Aurora Pozo (UFPR), Bruno Kimura (UNIFESP), Bruno Schulze (LNCC), Carlos Eduardo Ferreira (USP), Carlos Eduardo de Barros Paes (PUC/SP), Cecilia Rubira (UNICAMP), Celso Alberto Saibel Santos (UFES), Christina Chavez (UFBA), Claudia Linhares Sales (UFC), Claudio Jung (UFRGS), Clodoveu Davis (UFMG), Daniela Barreiro Claro (UFBA), Debora Paiva (UFMS), Diego Aranha (UNICAMP), Edna Canedo (UNB), Edson Costa Jr (UNB), Edson Oliveira Jr (UEL), Eduardo Cerqueira (UFPA), Eduardo Nakamura (UFAM), Emerson Pedrino (UFSCAR), Esteban Clua (UFF), Fabio André Porto (LNCC), Fábio Cozman (POLI/USP), Fernando Osorio (ICMC/USP), Francisco Carvalho-Junior (UFC), Frank José Affonso (UNESP), Heitor Costa (UFLA), Helio Pedrini (UNICAMP), Henrique Mongelli (UFMS), Ivaldir Junior (UFPE), Jayme Szwarcfiter (UFRJ), Jó Ueyama (ICMC/USP), Joao Papa (UNESP), João Navarro (EESC/USP), Joberto Martins (UNIFACS), Joceli Mayer (UFSC), José David (UFJF), José Palazzo Moreira de Oliveira (UFRGS), José Antonio Macêdo (UFC), Jose Rodrigues Jr (ICMC/USP), Juliana de Santi (UTFPR), Kalinka Castelo Branco (ICMC/USP), Karla Lima (USP), Katia Felizardo (UTFPR), Leila Silva (UFS), Liang Zhao (USP), Lucas Bueno Ruas Oliveira (IFSP), Luis Lamb (UFRGS), Luis Carlos De Bona (UFPR), Luiz Eduardo Buzato (UNICAMP), Marcelo Eler (USP), Marcelo Finger (IME/USP), Marcelo Pimenta (UFRGS), Marco Alves (UFPR), Marco Spohn (UFFS), Marco Aurelio Gerosa (NAU), Marco Tulio Valente (UFMG), Marcos Chaim (USP), Marcos Gonçalves (UFMG), Marcus Ritt (UFRGS), Maria da Graça Campos Pimentel (ICMC/USP), Maria Istela Cagnin (UFMS), Martin Musicante (UFRN), Mário Benevides (UFRJ), Mirella Moro (UFMG), Mylene Farias (UNB), Nabor Mendonça (UNIFOR), Nahri Moreano (UFMS), Nelson Rosa (UFPE), Pablo Antonino (IESE), Patricia Oliveira (USP), Patrick Brito (UFAL), Paulo Barbosa (UEPB), Paulo Maciel (UFPE), Paulo Pagliosa (UFMS), Rafael Prikladnicki (PUCRS), Raimundo Barreto (UFAM), Regina Braga (UFJF), Rejane Maria Figueiredo (UNB), Renata Galante (UFRGS), Renato Krohling (UFES), Ricardo Dahab (UNICAMP), Ricardo Torres (UNICAMP), Roberto Yokoyama (UTFPR), Rodolfo Azevedo (UNICAMP), Rodrigo Santos (UNIRIO), Rohit Gheyi (UFCG), Ronaldo Ferreira (UFMS), Rosana Braga (ICMC/USP), Silvia Vergilio

(UFPR), Simone Martins (UFF), Thiago Pardo (ICMC/USP), Toacy Oliveira (COPPE/UFRJ), Uirá Kulesza (UFRN), Valter Camargo (UFSCAR), Vaninha Vieira (UFBA)

Trabalhos aceitos

Decomposition of Graphs into Paths

Fábio Botler

MSECO-CERT: Uma Abordagem Baseada em Processo para Apoiar a Certificação de Apps em Ecossistema de Software Móvel

Awdren Fontão, Arilo Claudio Dias-Neto

Data Classification in Complex Networks via Pattern Conformation, Data Importance and Structural Optimization

Murillo G. Carneiro, Liang Zhao

Solving Moving-Blocks Problems

André G. Pereira

Timing Optimization During the Physical Synthesis of Cell-Based VLSI Circuits

Vinícius dos Santos Livramento

Sensitive-Video Analysis

Daniel Moreira, Siome Goldenstein, Anderson Rocha

Controle de Congestionamento de Veículos Utilizando Sistemas de Transporte Inteligentes

Allan M. de Souza

Measuring Inconsistency in Probabilistic Knowledge Bases

Glauber De Bona

Noise detection in classification problems

Luís P. F. Garcia, Ana C. Lorena, André C. P. L. F. de Carvalho

Lyra2: Password Hashing Scheme with improved security against time-memory trade-offs

Ewerton R. Andrade, Marcos A. Simplicio Junior

Um Estudo Exploratório Sobre Padrões de Falhas de Sistemas Operacionais

Caio Augusto R. dos Santos

Texture analysis using complex system models: fractal dimension, swarm systems and non-linear diffusion

Bruno Brandoli Machado, Jose Fernando Rodrigues Junior

Um Novo Algoritmo IA-RSA Ciente de Imperfeições de Camada Física para Redes Ópticas Elásticas

Alexandre Fontinele

Contributions to the Automatic Restoration of Images from Scenes in Participating Media

Paulo L. J. Drews-Jr, Erickson R. Nascimento, Mario F. M. Campos

A Framework for Predictable Hardware/Software Component Reconfiguration

João Gabriel Reis

Online Thread and Data Mapping Using the Memory Management Unit

Eduardo H. M. Cruz, Philippe O. A. Navau

Decomposition of Graphs into Paths

Fábio Botler¹

Orientadora: Yoshiko Wakabayashi²

¹Departamento de Ingeniería Industrial – FCFM-UChile
Avenida Republica, 701 – CEP 8370439 – Santiago – Chile

²Departamento de Ciência da Computação – IME-USP
Rua do Matão, 1010 - CEP 05508-090 – São Paulo – Brazil

{fbotler,yw}@ime.usp.br

Abstract. We study the Decomposition Conjecture posed by Barát and Thomassen (2006), which states that, for each tree T , there exists a natural number k_T such that, if G is a k_T -edge-connected graph and $|E(T)|$ divides $|E(G)|$, then G admits a partition of its edge set into copies of T . In a series of papers, Thomassen has verified this conjecture for stars, some bistars, paths of length 3, and paths whose length is a power of 2. In this paper we prove this conjecture for paths of any given length. Our technique is then used to prove weakenings of a conjecture of Kouider and Lonc (1999), and a conjecture of Favaron, Genest and Kouider (2010), both for path decomposition of regular graphs.

Introduction

A set $\mathcal{D} = \{H_1, \dots, H_k\}$ of pairwise edge-disjoint subgraphs of a graph G is called a *decomposition* of G if these subgraphs cover the edge set of G . If H_i , for $1 \leq i \leq k$, is isomorphic to a fixed graph H , then we say that \mathcal{D} is an H -decomposition of G . When $H = P_2$ is a path with two edges, one can prove that a connected graph G admits an H -decomposition if and only if G has an even number of edges. On the other hand, Dor and Tarsi (1997) proved that deciding whether a graph admits an H -decomposition is an NP-complete problem whenever H has a component with at least 3 edges. It is then natural to look for sufficient conditions for a graph to admit an H -decomposition. As we will see, this problem has attracted the attention of many researchers. The focus of this paper is the study of the H -decomposition problem when $H = P_\ell$ is a path of length ℓ . To tackle this problem, we developed a technique that consists in finding first a decomposition of the given graph into trails (some of which may be paths), and then, by means of a *Disentangling Lemma*, switching the edges between the elements of the current decomposition, so that the new decomposition contains more paths than the original one. This technique of finding first a trail decomposition, and then using this lemma, has shown to be useful to attack other path decomposition problems. In fact, we [Botler et al. 2015c] first used this idea to decompose triangle-free 5-regular graphs into paths of length 5. Later, we were able to explore better this technique to obtain path decomposition of two important family of graphs, namely, *regular graphs* and *highly edge-connected graphs*. Our proofs use a generalization of the technique we presented in [Botler et al. 2016], which combines a method introduced by Thomassen [Thomassen 2008a] and a technique used by Lovász [Lovász 1968] for decomposition into cycles and paths.

In Section 2, we study path decompositions of regular graphs, and present results related to the Conjectures of Kouider and Lonc (1999), and Favaron, Genest, and Kouider (2010). In Section 3, we study path decompositions of highly edge-connected graphs, mentioning our main result: the proof of the *Decomposition Conjecture* of Barát and Thomassen (2006) for paths.

Owing to space limitation, we only mention the main results and ideas contained in [Botler 2016]. For more details on the results of Section 2, the reader is referred to [Botler et al. 2015b]; full proofs of the results in Section 3 are given in [Botler et al. 2017a].

The basic terminology and notation used in this paper are standard (see, e.g. [Diestel 2010]). A *path* P in G is a sequence of distinct vertices $P = v_0v_1 \cdots v_\ell$ such that $v_iv_{i+1} \in E(G)$, for $i = 0, 1, \dots, \ell - 1$. The *length* of P is the number of its edges. A path of length ℓ is denoted by P_ℓ . A *vanilla trail* is a trail $v_0v_1 \cdots v_\ell$ such that $v_1 \cdots v_{\ell-1}$ is a path. A *vanilla ℓ -trail* is a vanilla trail of length ℓ .

Decomposition of regular graphs into paths of fixed length

In 1964, Ringel conjectured that the complete graph $K_{2\ell+1}$ admits a T -decomposition for any tree T with ℓ edges. This conjecture is commonly confused with the *Graceful Tree Conjecture* that says that every tree T with n vertices admits a labeling $f: V(T) \rightarrow \{0, \dots, n-1\}$ such that $\{1, \dots, n-1\} \subseteq \{|f(x) - f(y)|: xy \in E(T)\}$. In fact, the latter implies Ringel's Conjecture (see [Rosa 1967]), and this fact implies that Ringel's Conjecture holds for many classes of trees, such as stars, paths, bistars, caterpillars, and lobsters (see [Edwards and Howard 2006]). Häggkvist (1989) generalized Ringel's Conjecture for regular graphs as follows.

Conjecture 2.1 (Graham–Häggkvist, 1989). *For each tree T with ℓ edges, if G is a 2ℓ -regular graph, then G admits a T -decomposition.*

In 1989, Häggkvist also proved that Conjecture 2.1 holds when the girth of G is at least the diameter of T . In the case of paths, Kouider and Lonc (1999) improved Häggkvist's result, proving that a 2ℓ -regular graph with girth $g \geq (\ell + 3)/2$ admits a P_ℓ -decomposition \mathcal{D} such that every vertex is the end-vertex of exactly two paths of \mathcal{D} . They also conjectured that this statement holds for every 2ℓ -regular graph.

Conjecture 2.2 (Kouider–Lonc, 1999). *Every 2ℓ -regular graph admits a P_ℓ -decomposition \mathcal{D} such that each vertex is the end-vertex of exactly two paths of \mathcal{D} .*

We say that a path decomposition \mathcal{D} of a graph is *balanced* if there is a positive integer k such that each vertex is the end-vertex of exactly k paths of \mathcal{D} . Heinrich, Liu and Yu (1999) proved that if G is a $3m$ -regular graph that contains an m -factor, then G admits a balanced P_3 -decomposition. In [Botler and Talon 2017] it is proved that Conjecture 2.2 holds for $\ell = 4$ (see Theorem 2.4). In [Botler et al. 2017b] we prove a weakening of Conjecture 2.2, which states that, for each positive integers ℓ and g such that $g \geq 3$, there is an $m_0 = m_0(\ell, g)$ such that, if G is a $2m\ell$ -regular graph with $m \geq m_0$ and girth at least g , then G admits a balanced P_ℓ -decomposition. The next theorem gives a bound for m_0 .

Theorem 2.3. *Let ℓ, g and m be positive integers such that $g \geq 3$ and let G be a $2m\ell$ -regular graph with girth at least g . If $m > \lfloor (\ell - 2)/(g - 2) \rfloor$, then G admits a balanced P_ℓ -decomposition.*

Theorem 2.4. *Every 8-regular graph admits a balanced P_4 -decomposition.*

Another result related to those stated above is due to Kotzig (1957), who proved that a 3-regular graph G admits a P_3 -decomposition if and only if G contains a perfect matching. Favaron, Genest, and Kouider (2010) proved that if G is a 5-regular graphs without cycles of length 4 and containing a perfect matching, then G admits a P_5 -decomposition. They also conjectured that Kotzig's result may be generalized in the following way.

Conjecture 2.5 (Favaron–Genest–Kouider, 2010). *For every odd positive integer ℓ , if G is an ℓ -regular graph that contains a perfect matching, then G admits a P_ℓ -decomposition.*

In this case, the degree of the vertices of the graph is decreased by one-half, but a perfect matching is required. In [Botler et al. 2015c], we extended Favaron, Genest, and Kouider's result, proving that triangle-free 5-regular graphs that contain a perfect matching admit a P_5 -decomposition. A natural generalization of perfect matching is the concept of m -factor. An m -factor of a graph G is an m -regular spanning subgraph of G . In [Botler et al. 2017b], we also prove the following result, which is a weakening of Conjecture 2.5: for each positive integers ℓ and g such that ℓ is odd and $g \geq 3$, there is an $m_0 = m_0(\ell, g)$ such that, if G is an $m\ell$ -regular graph with $m \geq m_0$, girth at least g , and containing an m -factor, then G admits a balanced P_ℓ -decomposition. We also give a bound for m_0 . This value is stated in the next theorem.

Theorem 2.6. *Let ℓ, g and m be positive integers such that ℓ is odd and $g \geq 3$, and let G be an $m\ell$ -regular graph with girth at least g that contains an m -factor. If $m > 2\lfloor(\ell - 2)/(g - 2)\rfloor$, then G admits a balanced P_ℓ -decomposition.*

It would be interesting to prove, if possible, a better bound for m_0 . We showed that when $g = \ell - 1$ the bound on m_0 can be improved to 1, which proves Conjecture 2.5 for graphs with sufficiently high girth, and generalizes the result in [Botler et al. 2015c].

Theorem 2.7. *For every odd positive integer ℓ , if G is an ℓ -regular graph with girth at least $\ell - 1$ and containing a perfect matching, then G admits a P_ℓ -decomposition.*

In what follows, we mention the main ideas used in the proof of Theorem 2.3.

Sketch of the proof of Theorem 2.3. Let ℓ, g, m and G be as in the statement. The proof follows by induction on ℓ . The statement holds trivially for $\ell = 1$, and the proof for the case $\ell = 2$ follows simply by choosing an Eulerian orientation of G and decomposing the out-going edges at each vertex into paths of length 2. Thus, we can suppose that $\ell \geq 3$. Using a theorem of Petersen (1891), we can show that G contains a $4m$ -factor H . Thus, $G' = G - E(H)$ is a $2m(\ell - 2)$ -regular graph with girth at least g , and $m > \lfloor((\ell - 2) - 2)/(g - 2)\rfloor$. By the induction hypothesis, G' admits a balanced $P_{\ell-2}$ -decomposition \mathcal{D}' . It is easy to see that since \mathcal{D}' is balanced, each vertex of G is the end-vertex of precisely $2m$ paths of \mathcal{D}' . Moreover, if we choose an Eulerian orientation for H , then we have $d_H^+(v) = d_H^-(v) = 2m$ for every vertex v of G . Thus, using the edges of H we can extend each path of \mathcal{D}' with one out-going edge at each of its end-vertices, obtaining a decomposition \mathcal{D} of G into vanilla ℓ -trails. The Disentangling Lemma in [Botler 2016] is then used to transform \mathcal{D} into a balanced P_ℓ -decomposition of G , concluding the proof.

Decomposition of highly edge-connected graphs into paths of fixed length

In this section we study H -decomposition of highly edge-connected graphs. When H is a tree, Barát and Thomassen (2006) conjectured that high edge-connectivity (together with

the obvious necessary condition on the number of edges) may be sufficient for a graph to admit an H -decomposition.

Conjecture 3.1. *For any fixed tree T , there exists a natural number k_T such that, if G is a k_T -edge-connected graph and $|E(G)|$ is divisible by $|E(T)|$, then G admits a T -decomposition.*

Barát and Thomassen (2006) proved that Conjecture 3.1 in the special case T is the claw $K_{1,3}$ is equivalent to a weakening of Tutte's 3-flow conjecture, posed by Jaeger (1988). Recently, Lovász, Thomassen, Wu, and Zhang (2013) proved that a $(3k - 3)$ -edge-connected graph G admits a $K_{1,k}$ -decomposition if $|E(G)|$ is divisible by k , showing that Conjecture 3.1 holds for stars, and, in particular, confirming Jaeger's weak 3-flow conjecture. Between 2008 and 2013, Thomassen also proved that Conjecture 3.1 holds for paths of length 3, paths of length 4, a family of bistars, and more recently, for paths whose length is a power of 2. Recently, Barát and Gerbner (2014) and Thomassen (2013a) proved that it is sufficient to prove Conjecture 3.1 for bipartite graphs. That is, Conjecture 3.1 is equivalent to the following conjecture.

Conjecture 3.2. *For any fixed tree T , there exists a natural number k'_T such that, if G is a bipartite k'_T -edge-connected graph and $|E(G)|$ is divisible by $|E(T)|$, then G admits a T -decomposition.*

In [Botler et al. 2016], we proved that Conjecture 3.1 holds for paths of length 5. This result was also obtained by Merker [Merker 2017], who, additionally, verified Conjecture 3.1 for trees with diameter at most 4. Finally, in [Botler et al. 2017a], we proved Conjecture 3.1 for paths of any given length. For that, we first proved Conjecture 3.2 for paths of any length, and then used the equivalence of Conjectures 3.1 and 3.2.

Theorem 3.3. *Let ℓ be a positive integer, and let $r = \max\{32(\ell - 1), \ell(\ell + 1)\}$. If G is a $2(13\ell + 4r - 4)$ -edge-connected bipartite graph such that $|E(G)|$ is divisible by ℓ , then G admits a P_ℓ -decomposition.*

Theorem 3.4. *Let ℓ be a positive integer, $r = \max\{32(\ell - 1), \ell(\ell + 1)\}$, and put $k'_T = 2(13\ell + 4r - 4)$. If G is a $(4k'_T + 16\ell^{6\ell+1})$ -edge-connected graph such that $|E(G)|$ is divisible by ℓ , then G admits a P_ℓ -decomposition.*

The proof of Theorem 3.3 follows the structure of the proof of Theorem 2.3. For that, we define new concepts such as *fractional factors* and *\mathbb{F} -balanced decompositions*, which extend the concepts of factors and balanced decompositions, respectively, to the scope of highly edge-connected graphs.

Concluding remarks

Graph decomposition is a topic that has shown to be rich in conjectures and challenging problems that have brought significant contributions to structural graph theory. In this work we developed a technique to deal with decompositions of graphs into paths that has shown to be useful to deal with well-studied problems (Conjectures 2.1, 2.5, and 3.1). Furthermore, the tools developed in this work have led us to other new results as in [Botler and Talon 2017].

When we were writing the main result of Section 3 in [Botler et al. 2017a], we learned that Bensmail, Harutyunyan, Le, and Thomassé (2015) obtained a similar result using a different approach. Recently, together with Merker, these authors [Bensmail et al. 2017] proved Conjecture 3.1 using probabilistic tools. This shows

that the study of graph decompositions may be explored with different approaches, each of which contributes to enrich the area of structural graph theory.

We plan to continue working on Conjecture 2.1. We also would like to generalize the Disentangling Lemma to deal with more general structures, seeking for results analogous to the ones in Section 2 for other structures. In another direction, we believe that it is possible to improve the girth condition of Conjecture 2.5.

We conclude mentioning that the results obtained in [Botler 2016] have been published in the *Journal of Combinatorial Theory, Series B* [Botler et al. 2017a] and *Discrete Mathematics* [Botler et al. 2015c]; and have been accepted to the *European Journal of Combinatorics* [Botler et al. 2017b] and *Discrete Applied Mathematics* [Botler et al. 2016], the first one being one of the most prestigious journals in combinatorics. We have also presented these results in many international conferences, among which we mention *ICGT 2014*, *LAGOS 2015*, *EuroComb 2015* [Botler et al. 2015b, Botler et al. 2015a].

References

- Barát, J. and Gerbner, D. (2014). Edge-decompositions of graphs into copies of a tree with four edges. *Electron. J. Combin.*, 21(1):Research Paper 55 pp. (electronic).
- Barát, J. and Thomassen, C. (2006). Claw-decompositions and Tutte-orientations. *J. Graph Theory*, 52(2):135–146.
- Bensmail, J., Harutyunyan, A., Le, T., Merker, M., and Thomassé, S. (2017). A proof of the Barát-Thomassen conjecture. *J. Comb. Theory, Ser. B*, 124:39–55.
- Bensmail, J., Harutyunyan, A., Le, T.-N., and Thomassé, S. (2015). Edge-partitioning a graph into paths: beyond the Barát-Thomassen conjecture. *ArXiv e-prints*.
- Botler, F. (2016). *Decomposição de Grafos em Caminhos*. PhD thesis, Instituto de Matemática e Estatística – Universidade de São Paulo.
- Botler, F., Mota, G., Oshiro, M., and Wakabayashi, Y. (2015a). Decompositions of highly connected graphs into paths of any given length. *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, 49:795 – 802.
- Botler, F., Mota, G., Oshiro, M., and Wakabayashi, Y. (2015b). Path decompositions of regular graphs with prescribed girth. *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, 49:629 – 636.
- Botler, F., Mota, G. O., Oshiro, M. T. I., and Wakabayashi, Y. (2016). Decomposing highly connected graphs into paths of length five. *Discrete Appl. Math.*, to appear.
- Botler, F., Mota, G. O., Oshiro, M. T. I., and Wakabayashi, Y. (2017a). Decomposing highly edge-connected graphs into paths of any given length. *J. Combin. Theory Ser. B*, 122:508–542.
- Botler, F., Mota, G. O., Oshiro, M. T. I., and Wakabayashi, Y. (2017b). Decomposing regular graphs with prescribed girth into paths. *European Journal of Combinatorics*, to appear.
- Botler, F., Mota, G. O., and Wakabayashi, Y. (2015c). Decompositions of triangle-free 5-regular graphs into paths of length five. *Discrete Math.*, 338(11):1845–1855.

- Botler, F. and Talon, A. (2017). Decomposing 8-regular graphs into paths of length 4. *Discrete Mathematics*, 340(9):2275 – 2285.
- Diestel, R. (2010). *Graph theory*, volume 173 of *Graduate Texts in Mathematics*. Springer, Heidelberg, fourth edition.
- Dor, D. and Tarsi, M. (1997). Graph decomposition is NP-complete: a complete proof of Holyer’s conjecture. *SIAM J. Comput.*, 26(4):1166–1187.
- Edwards, M. and Howard, L. (2006). A survey of graceful trees. *Atl. Electron. J. Math.*, 1(1):5–30.
- Favaron, O., Genest, F., and Kouider, M. (2010). Regular path decompositions of odd regular graphs. *J. Graph Theory*, 63(2):114–128.
- Häggkvist, R. (1989). Decompositions of complete bipartite graphs. In *Surveys in combinatorics, 1989 (Norwich, 1989)*, volume 141 of *London Math. Soc. Lecture Note Ser.*, pages 115–147. Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- Heinrich, K., Liu, J., and Yu, M. (1999). P_4 -decompositions of regular graphs. *J. Graph Theory*, 31(2):135–143.
- Jaeger, F. (1988). Nowhere-zero flow problems. In *Selected topics in graph theory, 3*, pages 71–95. Academic Press, San Diego, CA.
- Kotzig, A. (1957). Aus der Theorie der endlichen regulären Graphen dritten und vierten Grades. *Časopis Pěst. Mat.*, 82:76–92.
- Kouider, M. and Lonc, Z. (1999). Path decompositions and perfect path double covers. *Australas. J. Combin.*, 19:261–274.
- Lovász, L. (1968). On covering of graphs. In *Theory of Graphs (Proc. Colloq., Tihany, 1966)*, pages 231–236. Academic Press, New York.
- Lovász, L. M., Thomassen, C., Wu, Y., and Zhang, C.-Q. (2013). Nowhere-zero 3-flows and modulo k -orientations. *J. Combin. Theory Ser. B*, 103(5):587–598.
- Merker, M. (2017). Decomposing highly edge-connected graphs into homomorphic copies of a fixed tree. *J. Comb. Theory, Ser. B*, 122:91–108.
- Petersen, J. (1891). Die Theorie der regulären graphs. *Acta Math.*, 15(1):193–220.
- Ringel, G. (1964). Problem n.25. In *Theory of Graphs and its Applications (Proc. Sympos. Smolenice, 1963)*. Publ. House Czechoslovak Acad. Sci., Prague.
- Rosa, A. (1967). On certain valuations of the vertices of a graph. In *Theory of Graphs (Internat. Sympos., Rome, 1966)*, pages 349–355. Gordon and Breach, New York.
- Thomassen, C. (2008a). Decompositions of highly connected graphs into paths of length 3. *J. Graph Theory*, 58(4):286–292.
- Thomassen, C. (2008b). Edge-decompositions of highly connected graphs into paths. *Abh. Math. Semin. Univ. Hambg.*, 78(1):17–26.
- Thomassen, C. (2013a). Decomposing a graph into bistars. *J. Combin. Theory Ser. B*, 103(4):504–508.
- Thomassen, C. (2013b). Decomposing graphs into paths of fixed length. *Combinatorica*, 33(1):97–123.

MSECO-CERT: Uma Abordagem Baseada em Processo para Apoiar a Certificação de *Apps* em Ecossistema de Software Móvel

Awdren Fontão, Arilo Claudio Dias-Neto

¹Instituto de Computação– Universidade Federal do Amazonas (UFAM)
Caixa Postal 6.200 – 69.077-000 – Manaus – AM – Brasil

{awdren, arilo}@icomput.ufam.edu.br

Resumo. Em um Ecossistema de Software Móvel (MSECO), as organizações de software passaram a abrir a sua estrutura para desenvolvedores externos visando atingir metas, como o aumento do número de aplicações móveis (*apps*). Desta forma, a organização precisa reestruturar seus processos para lidar com desenvolvedores externos visando alcançar o desempenho esperado. No entanto, a “barreira” de qualidade provida pelo MSECO, a Loja de *Apps*, não define critérios que possam garantir que as *apps* certificadas a partir deles obtenham o desempenho desejado (ex: downloads e avaliações positivas). Assim, é necessário considerar a qualidade de suporte oferecido aos desenvolvedores por meio dos processos dentro do MSECO, uma vez que trabalhando nos processos (certificação) pode-se atingir o desempenho esperado para as *apps*. Neste trabalho, foi definida uma abordagem baseada em processos para certificação de *apps* em MSECO – MSECO-CERT. Nos experimentos conduzidos, o uso da MSECO-CERT para desenvolvimento de *apps* gerou um coeficiente de crescimento de downloads 363% maior e média de avaliações dos usuários 28% maior em comparação a uma abordagem *ad hoc*. Houve ainda mudança em atitudes positivas de desenvolvedores e evangelistas que manifestaram a utilidade da abordagem.

1. Introdução

Um Ecossistema de Software Móvel (MSECO) consiste de um sistema de evolução cooperativa de aplicações móveis (*apps*), desenvolvedores e usuários que formam complexos relacionamentos preenchendo nichos, competindo e cooperando, de uma forma similar a ecossistemas biológicos [LIN e YE, 2009]. Um MSECO é formado por diversos elementos, que possuem responsabilidades distintas e que precisam se relacionar de forma harmônica de forma a manter um equilíbrio. Dentre esses elementos, além da *App*, Desenvolvedores e Usuários, citados anteriormente, podem ser incluídos a Organização Central, que é responsável pelo gerenciamento do MSECO, os Evangelistas, especialistas internos da organização alocados para suportar os desenvolvedores, e a Loja de *Apps*, que consiste em um repositório de *apps* e que possui um papel fundamental para o sucesso do MSECO, definindo políticas de aceitação de *apps* que irão ser disponibilizadas aos usuários. O desempenho destes elementos precisa ser acompanhado com o objetivo de identificar e prever áreas de melhoria, ou seja, habilidade em suportar e permanecer variável e produtivo durante o tempo. Este cenário se refere ao conceito de “saúde” definido por Manikas e Hansen [2013a].

O impacto de uma *app* no ecossistema só pode ser medido após a sua publicação em uma loja. Não se pode garantir que *apps* aprovadas pelos critérios de uma loja resultarão em um número alto de *downloads* e em avaliações positivas pelos usuários. Desta forma, a submissão de uma *app* baseada somente em critérios da loja, com foco somente na qualidade do produto, pode causar a “doença” em elementos do MSECO desencadeando sintomas como a desmotivação dos desenvolvedores para evoluir uma *app* e a adaptação constante de estratégias pela Organização Central para manter a comunidade de usuários e de desenvolvedores.

Então, a prevenção para não gerar impacto negativo na “saúde” do MSECO não deve ser somente focada na qualidade do produto, mas deve levar em consideração a qualidade dos processos executados pelo desenvolvedor (criação e desenvolvimento da *app*), pela Organização Central (orquestração do ecossistema) e pelo evangelista (suporte e elo entre a organização e o desenvolvedor), uma vez que a “saúde” do MSECO é diretamente influenciada por todos os elementos que o compõe. O problema tratado como foco neste trabalho é o impacto dos elementos para certificar uma *app* a partir da qualidade dos processos que eles são responsáveis. Neste trabalho o conceito de certificação é interpretado como atestar, por meio da utilização dos processos e do conjunto de práticas/recomendações que definem como deve ser o suporte pelo evangelista e como uma *app* deverá ser desenvolvida, que haverá um impacto positivo em indicadores de saúde do MSECO, mais especificamente em quantidade de *downloads* e de média de avaliação das *apps* [Babiy *et al.* 2010].

O objetivo deste trabalho é definir e avaliar uma abordagem de certificação de qualidade de *apps* no contexto de MSECO por meio de processos, recomendações, práticas e indicadores de saúde na fase de pré-publicação para uma loja de *apps*. Essa abordagem envolve os elementos que compõem o MSECO (desenvolvedor, evangelista, Organização Central, aplicação móvel e loja) a fim de impactar positivamente a saúde do MSECO.

2. Abordagem MSECO-CERT

A abordagem MSECO-CERT é composta por três processos MSECO-ORQ (orquestração), MSECO-SUP (suporte) e MSECO-DEV (desenvolvimento), a descrição completa está presente no Capítulo 3 da dissertação. Como mostrado na Figura 1, cada processo é composto por **atividades**, **papéis** o que envolve um fluxo de trabalho utiliza e produz **artefatos**. Para cada atividade, uma **recomendação**, orientação para executá-la, foi associada. Para cada recomendação, **práticas**, que representam exercícios para atingir resultados concretos nas metas organizacionais, foram associadas. As práticas só estão associadas às atividades realizadas antes da submissão de uma *app* à loja, pois é quando o evangelista pode intervir. A MSECO-CERT é composta como segue.

O MSECO-ORQ surge da interação entre a organização central e o evangelista, o objetivo deste processo é preparar, gerenciar e coordenar alguns elementos (desenvolvedor, evangelista e a *app*) e alguns de seus relacionamentos. Além disso, visa fornecer diretrizes e guias necessários com o objetivo de manter os indicadores de saúde de MSECO: robustez, produtividade e criação de nicho. Possui nove atividades, nove artefatos, nove recomendações, nenhuma prática (uma vez que não tem como gerar intervenção na orquestração a partir dos papéis de evangelista e desenvolvedor).

O objetivo do processo MSECO-SUP é prover o relacionamento entre a organização central com os desenvolvedores. Para isso, o MSECO dispõe de um elemento responsável por esta ligação: o evangelista. Contém nove atividades e recomendações, seis artefatos, quarenta e quatro práticas.

O MSECO-DEV tem como objetivo ajudar que o desenvolvedor planeje e construa uma *app* que será adicionada à loja de *apps*. Para isso, o desenvolvedor poderá utilizar artefatos gerados tanto no MSECO-ORQ como no MSECO-SUP. Dessa forma, ele pode contribuir com a produtividade e a criação de nicho do MSECO. Contém oito atividades e recomendações, sete artefatos, dezesseis práticas.

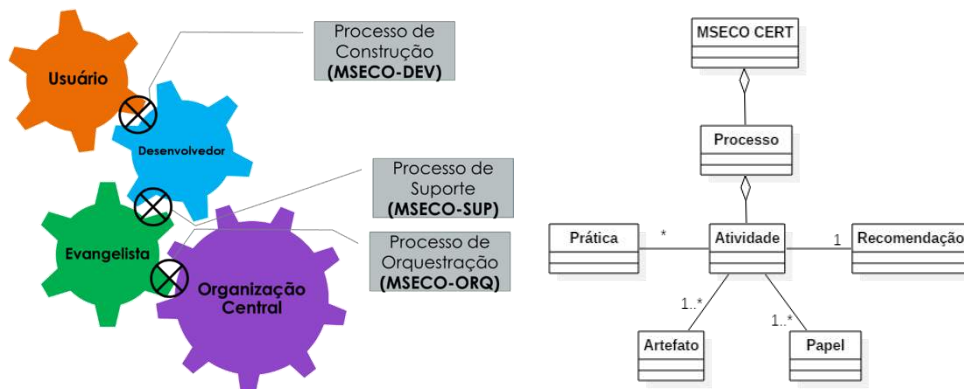


Figura 1. Relação entre processos (Esq.) e estrutura da MSECO-CERT (Dir.)

A MSECO-CERT foi concebida a partir dos seguintes estudos: (1) um mapeamento sistemático da literatura sobre MSECO e para a extração de práticas e recomendações; (2) revisão por pares com especialistas nos processos com o objetivo de avaliar a forma dos processos (atividades, artefatos, fluxo); e, (3) pesquisas de opinião com evangelistas e desenvolvedores (novatos e experientes) para avaliar a utilidade e aplicabilidade dos processos incluindo as práticas e recomendações.

Um exemplo de utilização da abordagem envolve o treinamento conduzido por um evangelista que faz uso do MSECO-SUP para preparar códigos de exemplo, realizar postagens, gravar vídeos, consolidar material de suporte, preparar ação (evento ou treinamento), executar ação, analisar os resultados da ação, acompanhar os participantes e atualizar relatórios de resultados. Os documentos gerados ao final formam a base de divulgação do MSECO e fornecem procedimentos de relacionamento com os desenvolvedores. Os desenvolvedores utilizam o MSECO-DEV para definir o escopo da *app*, desenvolvê-la, preparar material de divulgação, analisar a *app* (critérios de qualidade da loja), analisar pacote de marketing, submeter a *app*, acompanhar status de aprovação e monitorar relatórios. O artefato gerado ao final desse processo deve ser um arquivo publicável empacotado, usando o padrão definido pelo MSECO e que deve ser suportado pela sua plataforma. Este artefato poderá ser embarcado no dispositivo de um usuário, pois estará disponível na loja de *apps*.

3. Experimentos e Resultados

A abordagem, baseada em Shull *et al.* [2001], foi avaliada a partir de dois aspectos : 1) **Eficiência da abordagem (Estudo de viabilidade)** – o propósito foi responder a seguinte questão: “*A utilização da MSECO-CERT para certificar apps desenvolvidas no contexto de MSECO é viável analisando a sua eficiência em relação à quantidade de*

downloads e à avaliação das apps desenvolvidas?”; 2) Adequação em um cenário real (Estudo de observação) – a seguinte questão foi investigada: “A MSECO-CERT é adequada no contexto real para o evangelismo e desenvolvimento de apps?”. Tendo em vista que uma intervenção na orquestração de um MSECO não é um procedimento rápido pelo fato de estar associado a estratégia da organização, não avaliamos o uso do MSECO-ORQ nos experimentos, pois o fluxo de atividades do processo permanece o mesmo em relação aos três principais ecossistemas e não se modifica com frequência. Focamos, no experimento, na avaliação do MSECO-DEV e MSECO-SUP.

Inicialmente com os resultados obtidos por meio da execução do **estudo de viabilidade** foi possível caracterizar a MSECO-CERT em relação a uma abordagem *Ad hoc* que foi aplicada por não ter sido identificado na literatura outra similar à MSECO-CERT. Este estudo envolveu dois evangelistas oficiais do MSECO gerenciado pela *Microsoft* para a plataforma *Windows Phone*. Trinta desenvolvedores (divididos em dois grupos com quinze participantes cada) foram provenientes dos cursos de Engenharia de Software e Sistemas de Informação do Instituto de Ciências Exatas e Tecnologia da UFAM. Desta forma, com a **Turma 1** foi aplicada a abordagem MSECO-CERT, o evangelista utilizou o MSECO-SUP e os desenvolvedores utilizaram o MSECO-DEV. Enquanto que com a **Turma 2** a abordagem *Ad hoc* foi utilizada, tanto para o evangelismo quanto o desenvolvimento. O estudo em um ambiente acadêmico, está dentro do contexto real de uma atividade de evangelismo e desenvolvimento em um MSECO, este cenário é o utilizado pelas organizações em MSECO, o que caracteriza um ambiente real, com a mesma infraestrutura, ferramentas e evangelista.

Para a execução do treinamento a plataforma utilizada foi a *Windows Phone 7.5*, com o *Visual Studio 2012*. Os dados de quantidade de *downloads* foram coletados diretamente da Central do Desenvolvedor durante um período de 30 a partir da publicação de cada aplicação móvel. Este procedimento foi realizado para as duas turmas. Como forma de realizar uma comparação entre as duas turmas calculou-se a média diária de *downloads* das *apps*. Como esses valores foi gerada por dia a média acumulada, estes dados são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Média acumulada por dia de downloads

Dia	Turma		Dia	Turma		Dia	Turma	
	1	2		1	2		1	2
1°	4	2	11°	93	20	21°	181	40
2°	11	5	12°	103	21	22°	188	42
3°	18	6	13°	113	22	23°	196	43
4°	28	8	14°	122	24	24°	207	45
5°	38	9	15°	132	25	25°	214	49
6°	49	10	16°	141	27	26°	221	51
7°	61	13	17°	149	33	27°	230	53
8°	68	14	18°	158	34	28°	241	55
9°	76	16	19°	166	37	29°	252	56
10°	84	18	20°	173	38	30°	267	58

A partir dos resultados obtidos dos *downloads* foi realizada uma comparação entre as funções que descrevem o crescimento do número de *downloads* do conjunto de *apps* de cada turma, onde $f(x) = 8,809x - 3,8138$ (Turma 1) e $g(x) = 1,9591x - 1,2322$ (Turma 2). Uma vez que uma função afim pode ser descrita como $h(x) = ax + b$, onde a é o coeficiente de crescimento da reta, podemos observar que o coeficiente de crescimento da função da turma 1 (8,80) é 363% maior que o da turma 2 (1,95). Isto aponta uma diferença entre o indicador de *downloads*, no qual a turma 1 obteve uma

média acumulada maior. Para analisar a média das avaliações de cada turma, foram levadas em consideração as avaliações das *apps* que obtiveram alguma classificação pelos usuários. Com esta informação, calculou-se a média, mediana de avaliação para cada turma e o desvio padrão. O desvio-padrão da avaliação de *apps* da Turma 1 (0,5) é menor que a da turma 2 (1,7). Quando se volta a atenção para a tendência das avaliações, as avaliações da turma 1 são mais próximas de 4,5. Já as avaliações da Turma 2 se dividem em uma aproximação entre 4,3 e 2,5. Ainda foram feitas análises qualitativas (Seção 5.5.2) dos artefatos dos processos, das anotações dos evangelistas durante o uso do MSECO-SUP, comentários dos desenvolvedores após o treinamento e a experiência de cada desenvolvedor a partir da interação por e-mail e *WhatsApp*. As ameaças a validade do estudo de viabilidade estão descritas na seção 5.4.

No **estudo de observação**, como forma de inserir a utilização da abordagem em um cenário real da indústria, o objetivo não foi comparar com a utilização de uma outra abordagem, mas sim obter informações sobre as dificuldades dos participantes e realizar uma análise qualitativa da utilização da MSECO-CERT. Neste estudo, ainda no MSECO *Windows Phone*, a plataforma utilizada foi a *Windows Universal Platform (UWP)*, optou-se pela mudança para analisar a adequação da abordagem em um cenário onde é comum a atualização das plataformas. Destaca-se o fato de que o evangelista participante é líder da comunidade de desenvolvedores Windows e Android e possui nível alto de experiência (inclusive na indústria) em projeto, desenvolvimento e publicação de *apps*, assim como, em evangelismo de comunidades de desenvolvedores.

O **evangelista** foi questionado sobre o grau de dificuldade da utilização do MSECO-SUP para o evangelismo no contexto de MSECO. Este evangelista classificou a utilização como fácil e em relação aos aspectos que tornam o MSECO-SUP de fácil aplicação comentou: *“Fácil de usar por ser de fácil entendimento, por tornar o processo de desenvolvimento de apps mais organizado e estabelecer uma metodologia durante todo o trabalho. De primeira a gente sente um pouco de dificuldade em seguir, mas é questão de costume, sempre fazemos de qualquer jeito.”* Quando questionado acerca de que maneira o MSECO-SUP o auxiliou no evangelismo comentou: *“Positivamente. O MSECO-SUP me auxiliou no evangelismo de desenvolvedores que executaram atividades de desenvolvimento, publicação e acompanhamento de uma app. Talvez não tivesse chegado ao mesmo resultado se não tivesse o utilizado.”*

Os **desenvolvedores** também classificaram o grau de dificuldade da aplicação do processo MSECO-DEV, sete (70%) deles consideram fácil enquanto que 3 (30%) acharam difícil. Entretanto, quando questionados sobre de que maneira o MSECO-DEV o auxiliou no desenvolvimento, publicação e acompanhamento da sua *app*, todos os dez desenvolvedores (100%) responderam que foi de forma positiva, ou seja, o MSECO-DEV auxiliou no desenvolvimento, publicação e acompanhamento da *app* e que talvez não tivessem chegado ao mesmo resultado se não tivesse o utilizado. E todos os desenvolvedores complementaram informando que utilizariam o MSECO-DEV para desenvolver suas *apps* futuras. As ameaças a validade do estudo de viabilidade estão descritas na seção 6.4.

4. Considerações finais

Além da experiência relatada para definição e avaliação da MSECO-CERT que pode servir de base para outras pesquisas em ecossistemas, as principais contribuições são: A

análise de métricas, extraídas de um conjunto indicado pela literatura, para analisar indicadores de saúde de MSECO; Mapeamento Sistemático da Literatura sobre MSECO, incluindo oportunidades de pesquisa; Pacote de estudos experimentais no contexto de MSECO. As limitações desta pesquisa estão relacionadas ao tipo de MSECO, comunidade de desenvolvedores e perfis dos evangelistas, como segue: os estudos foram realizados apenas no MSECO Windows Phone, então há a necessidade de realizar estudos nos MSECOS Android (em andamento como colaboração) e iOS; os evangelistas são oficiais do MSECO Windows Phone e um é evangelista oficial do Android, no entanto é necessário ainda avaliar a utilização da abordagem com diferentes níveis de perfil técnico quanto de temperamento psicológico. Apesar de o perfil técnico básico de um evangelista nos três principais MSECOS ser similar.

5. Publicações e Colaboração

Este trabalho gerou cinco publicações e sete em colaboração com outras instituições em conferências que pertencem ao extrato superior e inferior e, também, participações em orientação de quatro TCCs. Alguns dos artigos: *Mobile Software Ecosystems (MSECO): a systematic mapping study* (COMPSAC 2015 – Qualis A2); *MSECO-SUP: Support Process in Mobile Software Ecosystems* (SBES 2015 – Qualis B2); *MSECO-DEV: Application Development Process in Mobile Software Ecosystems* (SEKE 2016 – Qualis B1); *MSECO Skill: Construção de Competências de Desenvolvedores em Ecosystemas de Software Móvel* (CIBSE – Qualis B4); *Research Opportunities for Mobile Software Ecosystems* (WDES – Qualis B5); *An Empirical Evaluation of a Process-Based Approach to Certify Apps in Mobile Software Ecosystems* (em análise no *Journal Information and Software Technology* – Qualis A2).

Além disso dois artigos para periódicos em processo de finalização para submissão: *A Family of Experiments to Concept and Evaluate a Mobile Application Certification Approach* (será submetido ao *Empirical Software Engineering* – Qualis B1); *Mobile Application Development Training in Mobile Software Ecosystem (MSECO): Investigating the Developer Experience* (será submetido ao *Computers & Education* – Qualis A1). O professor doutor Rodrigo Pereira dos Santos do DIA/UNIRIO participou, ativamente, como colaborador na orientação deste trabalho.

Referências

- Babiy, V., Janicki, R., Wassyn, A., Bogobowicz, A. D. and Wyszynski, S. (2010). Selecting the best strategy in a software certification process.
- Lin, F. L. F. and Ye, W. Y. W. (2009). Operating System Battle in the Ecosystem of Smartphone Industry. *2009 International Symposium on Information Engineering and Electronic Commerce*,
- Manikas, K. and Hansen, K. M. (2013). Reviewing the Health of Software Ecosystems – A Conceptual Framework Proposal. In *Proceedings of the 5th International Workshop on Software Ecosystems*.
- Shull, F., Carver, J. and Travassos, G. H. (2001). An Empirical Methodology for Introducing Software Processes. In *Proceedings of European Software Engineering Conference*.

Data Classification in Complex Networks via Pattern Conformation, Data Importance and Structural Optimization

Murillo G. Carneiro^{1,2}, Liang Zhao^{1,3}

¹Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo (USP)
13566-590 – São Carlos – SP – Brazil

²Faculdade de Computação, Universidade Federal de Uberlândia (UFU)
38400-902 – Uberlândia – MG – Brazil

³Departamento de Computação e Matemática, Universidade de São Paulo (USP)
14040-901 – Ribeirão Preto – SP – Brazil

mgcarneiro@ufu.br, zhao@usp.br

Abstract. *Most data classification techniques rely only on the physical features of the data (e.g., similarity, distance or distribution), which makes them difficult to detect intrinsic and semantic relations among data items, such as the pattern formation, for instance. In this thesis, it is proposed classification methods based on complex networks in order to consider not only physical features but also capture structural and dynamical properties of the data through the network representation. The proposed methods comprise concepts of pattern conformation, data importance and network structural optimization, which are related to complex networks theory, learning systems, and bioinspired optimization. Extensive experiments demonstrate the good performance of our methods when compared against representative state-of-the-art methods over a wide range of artificial and real data sets, including applications in domains such as heart disease diagnosis and semantic role labeling.*

1. Introduction

This paper summarizes the main contributions of the doctorate research presented in [Carneiro 2016], with complex networks and machine learning as major topics. By the ubiquitous nature and by providing a set of efficient and robust tools to model and analyze networked data, complex networks have become a promising research topic for many areas, including machine learning and data mining [Silva and Zhao 2016]. Typical examples of network-based learning include unsupervised and semi-supervised tasks, such as community detection (or data clustering), label propagation and dimension reduction [Chapelle et al. 2006, Fortunato 2010]. Although data classification is a largely investigated task, the development of supervised learning methods based on complex networks is also a barely explored topic. In such a task, there is no space for label or other information propagation process into the network as there is only one or very few unlabeled data items [Carneiro 2016]. In addition to cover this lack, the following issues are also addressed by the investigations presented in the thesis:

Problem: The literature contains a myriad of data classification techniques. Traditionally, these techniques define decision boundaries in the data space according to the physical features of a training set and a new data item is classified by verifying its relative position

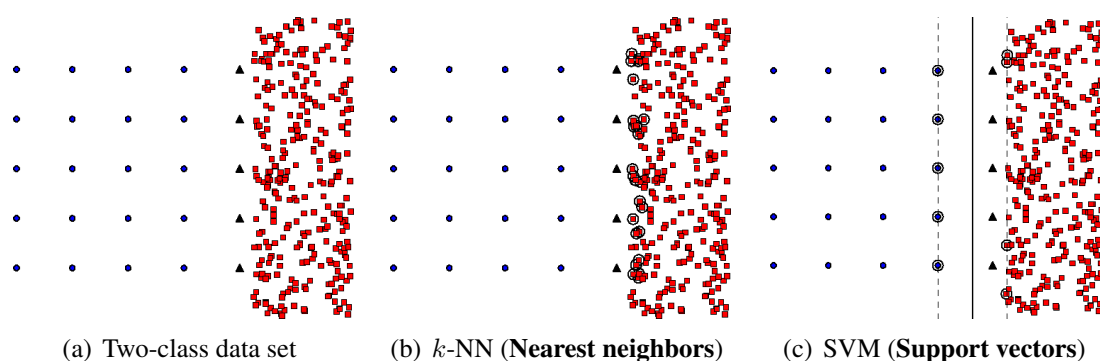


Figure 1. Analysis of the classification process of traditional techniques in a simple two class data set where circle data items denote a clear pattern and triangle data items need to be classified. Such techniques fail to consider the semantic structure of the data and they consequently label triangle data items as belonging to square/red class.

to the boundaries. Such kind of classification, which is only based on the physical attributes of the data (e.g., similarity, distance or distribution), makes traditional techniques unable to detect intrinsic and semantic relations among the data items such as the pattern formation, for instance. Let us consider Fig. 1(a), which shows a simple data set with two classes denoted by the circle and the square data items. The triangle data items represent test instances that need to be classified. Figs. 1(b) and 1(c) shows the classification process behind the traditional techniques k -nearest neighbors (k -NN) and Support Vector Machine (SVM). For example, k -NN classifies a test instance by verifying the label of its k nearest neighbors (circulated in Fig. 1(b)), and SVM takes into account the support vectors (circulated in Fig. 1(c)) to approximate each class with a convex hull and to find the best separating hyperplane between the classes. One can see both techniques fail to identify semantic patterns formed by the data. By contrast, the usage of complex networks is a promising way to capture spatial, topological and functional relationships of the data, as the network representation unifies structure, dynamic and functions of the networked system [Newman 2010].

Pattern conformation: In supervised data classification, the first attempt to use complex networks in order to consider the semantic relations among the data items is the hybrid framework for highlevel classification proposed in [Silva and Zhao 2012]. Such framework combines the associations produced by traditional and network-based techniques. The network-based technique uses complex network measures to estimate the membership of a test item according to the data formation pattern. However, given the high number of parameters in such framework (e.g., network formation, network measures variation, parameters of the traditional technique, convex combination, and so on), a simplified framework for highlevel classification which employs an unique network to provide both physical and complex-network based associations is proposed in the thesis .

Data importance: Although pattern conformation has been employed by highlevel classification as a new classification concept, other concepts can also be derived from complex networks. For example, structural and dynamical properties of the networked data can provide additional layers of information by defining quantitatively the importance of each data item into the classification process. Despite it has been a common practice in

data classification to assume that all data samples have the same relevance, such an assumption is obviously not compliant to the natural classification performed by the human brain. Moreover, neglecting the individual importance of each data sample may change the understanding of the whole data set. Such point is addressed in [Carneiro 2016] which proposes a new classification concept embedded in the constructed networks, considering both physical and topological features of the input data and permitting the detection of a variety of data patterns using the importance measure derived from Google's PageRank.

Network optimization: A common characteristic among network-based methods is the construction of the underlying data graph. In machine learning, such graph is usually formed from the input vector data, where each data item is represented as a node and the edges are defined from the affinity (or similarity) among the data items, for example, by connecting each data item to its k nearest neighbors. Although network formation is a crucial step for good performance, few attention has been devoted to this topic [Newman 2010]. Such a situation is confirmed by the common usage of the simple k NN network construction method in literature. k NN method considers only local data relationships and it is a general-purposed one, i.e., the constructed networks can be used for any machine learning or data mining tasks. By contrast, sophisticated methods consider both local and global relationship of the input data, but they are restricted for specific purposes. In order to fill this gap, an optimization framework, which is responsible to construct an “optimal” network regarding a given processing goal, is presented in [Carneiro 2016, Carneiro et al. 2016a].

In summary, this doctorate research investigated whether the structural and dynamical features derived from network representation can provide efficient computational methods to sort out the issues discussed above. The main contributions derived from this thesis are briefly discussed in the next section.

2. Thesis Contributions

Most of the doctorate research has been focused on data classification via importance concept in complex networks and network structural optimization. Following both contributions are briefly discussed. As extensive experiments were conducted for each proposed method, one may refer to [Carneiro 2016] in order to obtain a complete and precise description about the experimental setting and comparative analysis.

Classification Based on Data Importance. This investigation proposed a new data classification concept based on the importance concept of complex networks. Instead of data space division as having been done in traditional techniques or pattern conformation as having been done in highlevel classification techniques, the classification based on the data importance considers the individual importance of each data item in order to classify an unlabeled item. In the developed technique, the concept of importance is derived from PageRank, the ranking measure operating behind the universal search engine of Google. In addition, the technique captures spatial and structural properties of the networked data from a new network measure created, named spatio-structural differential efficiency. Briefly, in the training phase, the efficiency and PageRank measures are calculated over the underlying network constructed from the training data by using any graph construction method (e.g., k NN network). In the test phase, by using the spatio-structural differential efficiency measure, each test data item is temporarily connected to a set of

vertices in which its importance is then calculated for each class, and the test item is labeled into that class where it has the highest importance. The good performance of the proposed method is attested by comparisons against state-of-the-art methods over a wide range of artificial and real-world data sets, including applications in domains such as heart disease diagnosis [Carneiro 2016].

Fig. 2 gives a glimpse into the classification process of the proposed technique. Taking into account the artificial data set presented by Fig. 1(a), in which k -NN and SVM are unable to label the test data items correctly, Fig. 2(a) demonstrates that the importance-based method accurately detect the pattern formation of the data. A real-world example is also considered in Fig. 2(b), which illustrates the classification process of a patient (represented as \triangle /black data item) in terms of heart disease diagnosis. In the figure, patients diagnosed with heart disease are represented by blue/ \circ markers; otherwise by red/ \square markers. Despite the importance-based technique diagnoses the heart disease of the patient correctly, traditional techniques, such as k -NN, SVM, random forest, etc., fail in such task by considering only the physical features of the data. For example, in the same figure, the nearest neighbors of the new patient is showed. One can see k -NN classify the patient to the red/ \square class, i.e., without heart disease. Thus, both examples in Fig. 2 show that the proposed technique contributes to the data classification task by considering the organizational structure of the data beyond the physical features. Moreover, the experimental results also revealed the low computational cost of the new technique in comparison to other traditional techniques widely used in literature.

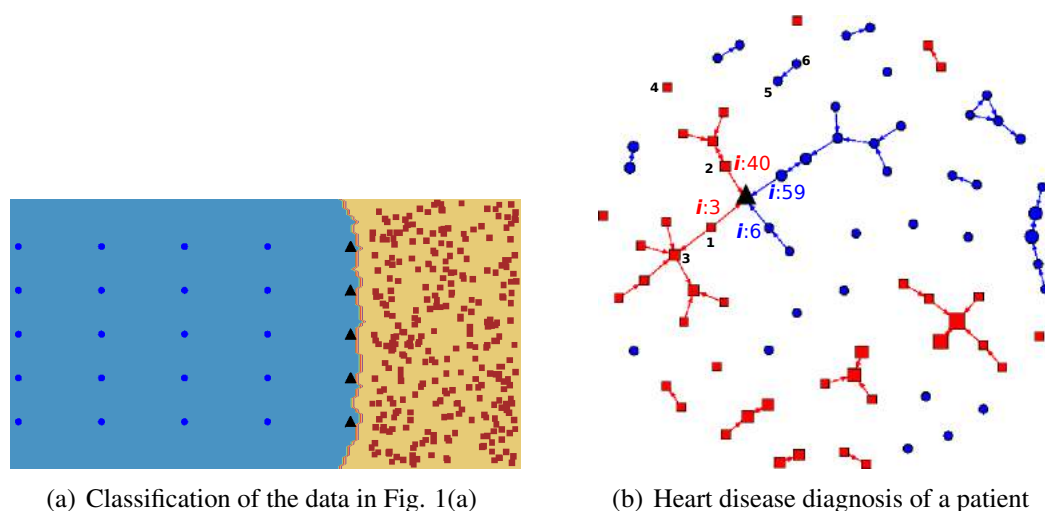


Figure 2. Analysis of the classifications provided by the importance-based data classification over misleading cases for traditional techniques.

Bioinspired Network Optimization. In the thesis, it is also proposed a bioinspired optimization framework which is expected to build up the network while conducting the optimization of a task-oriented quality function. Such method can be divided in two phases. In the optimization phase (training), we designed a mapping heuristic to determine the whole set of possible network configurations which is employed by our framework to convert particles to networks and vice versa. The network configurations are then iteratively evaluated and updated by a particle swarm optimization method which returns the best particle, i.e., the best network configuration according to a given function. Two quality

functions are evaluated in the experiments: highlevel and importance-based classification. Results on artificial and real-world data sets (including semantic role labeling) reveal the network provided through the structural optimization presents statistically better results than those generated by the most used network formation methods in literature, especially in higher complexity of class configuration (such as the mixture among different classes). In addition, they also performed well in comparison with widely used traditional classification techniques, such as SVM and logistic regression [Carneiro et al. 2016a]. Moreover, the proposed framework can also be adapted to perform structural optimization for other graph-based learning tasks, such as dimension reduction and outlier detection.

Following we also list other relevant contributions discussed in the thesis:

- **A simplified framework for highlevel classification:** in the thesis, the highlevel classification is simplified in a proposed hybrid technique where physical and complex-network based associations are produced from the same network, reducing considerably the number of parameters [Carneiro et al. 2014b, Carneiro and Zhao 2013]. Experimental results show that a larger portion of the highlevel association is required to get correct classification when there is a complex-formed and well-defined pattern in the data set. They also demonstrate that the proposed technique presents competitive performance against state-of-the-art methods (e.g., SVM) and it outperforms typical data classification techniques (e.g., classification and regression trees).
- **Graph-based semantic role diffusion:** the scarcity of annotated data for Brazilian Portuguese semantic role labeling is taken into account in [Carneiro et al. 2016b], which proposed a graph-based semi-supervised framework based on label propagation in order to investigate the diffusion of semantic roles for that language; results show label propagation methods outperform a baseline.
- **Parameter-free graph-based dimension reduction (DR):** in [Carneiro et al. 2014a, Cupertino et al. 2013], it is proposed a parameter-free graph-embedding DR method whose results are competitive compared to classical network approaches (e.g., k NN) and widely used DR methods (e.g., principal component analysis).

3. Publications

Following it is provided a summary of the main articles originated during the doctorate research. It is also presented the Qualis of the journals and conferences according to the latest version released by CAPES*.

- Carneiro, M. G., Zhao, L., and Jin, Y. Bio-inspired structural optimization for network-based data classification (under review). *IEEE Trans. Cybern.* – **Qualis A1**.
- Carneiro, M. G., Zhao, L., and Rosa, J. L. G. Improving semantic role labeling using highlevel classification in complex networks (accepted). In *FSKD* – **Qualis B1**.
- Carneiro, M. G. and Zhao, L. Organizational data classification based on the importance concept of complex networks (under review). *IEEE Trans. Neural Netw. and Learn. Syst.* – **Qualis A1**.
- Carneiro, M. G., Zhao, L., Cheng, R., and Jin, Y. (2016a). Network structural optimization based on swarm intelligence for highlevel classification. In *IEEE IJCNN*, pages 3737–3744 – **Qualis A1**.
- Carneiro, M. G., Zhao, L., and Rosa, J. L. G. (2016b). Graph-based semi-supervised learning for semantic role diffusion. In *KDMiLe*, pages 108–115.
- Cupertino, T. H., Zhao, L., and Carneiro, M. G. (2015). Network-based supervised data classification by using an heuristic of ease of access. *Neurocomputing*, 149:86–92 – **Qualis A1**.

*Also available on <http://qualis.ic.ufmt.br/>

- Carneiro, M. G., Rosa, J. L. G., Lopes, A. A., and Zhao, L. (2014b). Network-based data classification: combining k-associated optimal graphs and high-level prediction. *J. Braz. Comp. Soc.*, 20(1):1–14 – **Q. B1**.
- Carneiro, M. G., Cupertino, T. H., and Zhao, L. (2014a). K-associated optimal network for graph embedding dimensionality reduction. In *IEEE IJCNN*, pages 1660–1666 – **Qualis A1**.
- Cupertino, T. H., Carneiro, M. G., and Zhao, L. (2013). Dimensionality reduction with the k-associated optimal graph applied to image classification. In *IEEE IST*, pages 366–371 – **Qualis B2**.
- Carneiro, M. G. and Zhao, L. (2013). High level classification totally based on complex networks. In *IEEE BRICS-CCI*, pages 507–514.

Some other articles originated during the PhD period, which are not directly related to the thesis, are listed as follows.

- Carvalho, T. I., Carneiro, M. G., and Oliveira, G. M. B. Improving cellular automata scheduling through dynamic control (under review). *Int. Journal of Parallel, Emergent and Distributed Systems* – **Qualis B1**
- Carneiro, M. G. and Oliveira, G. M. B. (2013). Synchronous cellular automata-based scheduler initialized by heuristic and modeled by a pseudo-linear neighborhood. *Nat. Comput.*, 12(3):339–351 - **Q. B1**

References

- Carneiro, M. G. (2016). *Redes complexas para classificação de dados via conformidade de padrão, caracterização de importância e otimização estrutural*. PhD thesis, Universidade de São Paulo.
- Carneiro, M. G., Cupertino, T. H., and Zhao, L. (2014a). K-associated optimal network for graph embedding dimensionality reduction. In *IEEE IJCNN*, pages 1660–1666.
- Carneiro, M. G., Rosa, J. L. G., Lopes, A. A., and Zhao, L. (2014b). Network-based data classification: combining k-associated optimal graphs and high-level prediction. *J. Braz. Comp. Soc.*, 20(1):1–14.
- Carneiro, M. G. and Zhao, L. (2013). High level classification totally based on complex networks. In *IEEE BRICS-CCI*, pages 507–514.
- Carneiro, M. G., Zhao, L., Cheng, R., and Jin, Y. (2016a). Network structural optimization based on swarm intelligence for highlevel classification. In *IEEE IJCNN*, pages 3737–3744.
- Carneiro, M. G., Zhao, L., and Rosa, J. L. G. (2016b). Graph-based semi-supervised learning for semantic role diffusion. In *KDMiLe*, pages 108–115.
- Chapelle, O., Scholkopf, B., and Zien, A. (2006). *Semi-Supervised Learning*. MIT Press.
- Cupertino, T. H., Carneiro, M. G., and Zhao, L. (2013). Dimensionality reduction with the k-associated optimal graph applied to image classification. In *IEEE IST*, pages 366–371.
- Cupertino, T. H., Zhao, L., and Carneiro, M. G. (2015). Network-based supervised data classification by using an heuristic of ease of access. *Neurocomputing*, 149:86–92.
- Fortunato, S. (2010). Community detection in graphs. *Physics Reports*, 486(3–5):75 – 174.
- Newman, M. (2010). *Networks: An Introduction*. Oxford University Press, Inc.
- Silva, T. C. and Zhao, L. (2012). Network-based high level data classification. *IEEE Trans. Neural Netw. and Learn. Syst.*, 23(6):954–970.
- Silva, T. C. and Zhao, L. (2016). *Machine Learning in Complex Networks*. Springer.

Solving Moving-Blocks Problems

André G. Pereira¹, Luciana S. Buriol¹ (Advisor), Marcus Ritt¹ (Coadvisor)

¹Instituto de Informática – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Brazil

{agpereira,buriol,marcus.ritt}@inf.ufrgs.br

Abstract. *Moving-blocks problems are extremely hard to solve and a representative abstraction of many applications. Despite their importance, the known computational complexity results are limited to few versions of these problems. In addition, there are no effective methods to optimally solve them. We address both of these issues. This thesis proves the PSPACE-completeness of many versions of moving-blocks problems. Moreover, we propose new methods to optimally solve these problems based on heuristic search with admissible heuristic functions and tie-breaking strategies. Our methods advance the state of the art, create new lines of research and improve the results of applications.*

1. Motivation

Planning is a general problem-solving model and has been an active research area of *artificial intelligence* for more than half a century. A planning problem is defined by an initial state, a set of goal states and a set of actions. A solution is a sequence of actions that transforms the initial state into some goal state. *Transportation* problems are the most common version of planning problems. They share four fundamental characteristics: a set of connected locations, a set of movable objects, a set of goal locations, and a solution moves (a subset of) movable objects to goal locations. Many transportation problems are motivated by applications such as distribution chain planning [McDermott 2000], airport ground traffic control [Hoffmann et al. 2006], and space exploration [Long and Fox 2003].

Moving-blocks problems are prototypical transportation problems. In these problems, movable blocks are placed on a grid-square maze defined by immovable blocks. There is a distinguished block, called the man, that is the only block that can be moved directly and indirectly moves other blocks. Different moving-blocks problems are defined by the available set of actions and the definition of the set of goal states. The available actions are `Push`, `Pull`, or both `Push` and `Pull` denoted by `PushPull`. The man may be able to move only a fixed number of blocks (e.g. 1, k for some $k > 1$) or an unlimited number of blocks (denoted by $*$) at once. There are problems variants in which a moved block slides until it hits an obstacle, denoted by the repetition of the available action (e.g. `PushPush`). The two most common definitions of the set of goal states are *Storage* where each block must be placed at a distinct goal location and *Path* where there is only one goal location which the man must reach.

Sokoban (`Push-1-Storage`) is the best known moving-blocks problem. It is (one of) the hardest planning problems yet to be solved by computers, where humans still have superior performance. It has been used for decades as a testbed in artificial intelligence and has attracted a community of developers around the world that creates solvers for it. Figure 1(a) shows an instance of *Sokoban* with a movable block at $3E$, the man at $2B$, an immovable block at $1A$ and a goal location at $3B$.

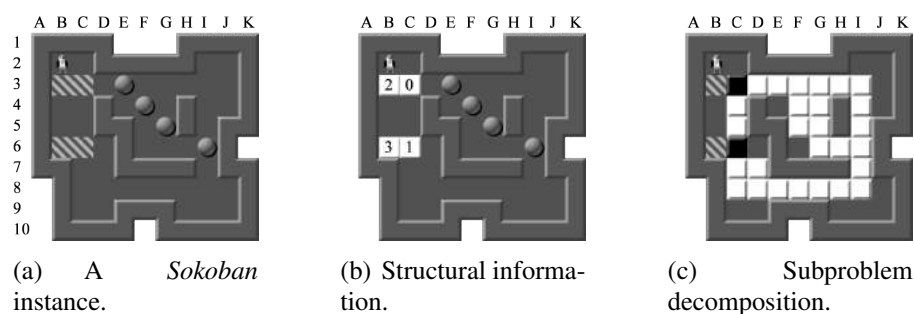


Figure 1. Sokoban instance 1(a) and proposed methods 1(b) and 1(c).

Moving-blocks problems have the fundamental characteristics of transportation problems. Thus, if we better understand moving-blocks problems we can better understand transportation problems. The majority of the literature studied the *computational complexity* of problems with `Push` moves. Problem with `Pull` moves have been proven NP-hard while several problems with `Push` moves are PSPACE-complete. There are even fewer results for problems with `PushPull` moves. Investigating problems with `PushPull` moves may be one way to positively answer the question whether there exists an interesting but tractable version of a moving-blocks problem – in problems with `PushPull` moves every action is reversible.

According to many measures, moving-blocks problems are the hardest planning problems. They are also simple to describe and easy to implement. Thus, these problems can be used to propose new methods that are transferable to planning problems. *Heuristic search* algorithms are the most effective methods to *optimally* solve planning problems. These algorithms use an *admissible heuristic function* to guide the search. Among the most effective heuristic functions are those based on *pattern databases* (PDB heuristics). However, PDB heuristics are ineffective in transportation problems where the mapping of movable objects to goal locations is not fixed which is the case in moving-blocks problems. Also, it is common that during the search the heuristic function is not informed enough to guide the search. In general only few instances of moving-blocks problems can be optimally solved. For example, of the 90 standard instances of *Sokoban* only 10 had been optimally solved before this thesis.

2. Contributions of this Thesis

This thesis presents four major contributions listed in the subsections below which improve our understanding of the hardness and the capabilities to optimally solve of moving-blocks problems.

2.1. Push and PushPull Problems are PSPACE-complete

We investigate the computational complexity of moving-blocks problems with `Pull` and `PushPull` moves. We prove that many `Pull` problems and the entire set of `PushPull` problems is PSPACE-complete. Our reductions are from the Nondeterministic Constraint Logic (NCL) [Hearn and Demaine 2005]. We show how to build *OR* and *AND* gadgets, and how to connect them into an arbitrary planar constraint graph. Our main contribution in this research line is to enhance the knowledge of the complexity landscape of moving-blocks problems. Next, we present the main theorems in the complexity contributions. Table 1 presents a summary of our results.

Table 1. Hardness of moving-blocks problems with results of this thesis shown in boldface. Problems hard for PSPACE are also complete for PSPACE since all problems are in PSPACE.

Problem	<i>Storage</i>		<i>Path</i>	
	Hard for	Reference	Hard for	Reference
Push-1	PSPACE	[Culberson 1999]	NP	[Demaine and Hoffmann 2001]
Push- k with $k \geq 2$	Open		PSPACE	[Demaine et al. 2002]
Push-*	Open		PSPACE	[Demaine et al. 2002]
PushPush-1	NP	[O'Rourke 1999]	PSPACE	[Demaine et al. 2004]
PushPush- k	Open		PSPACE	[Demaine et al. 2004]
PushPush-*	Open		NP	[Demaine et al. 2004]
Pull-1	PSPACE	[Pereira et al. 2016b]	NP	[Ritt 2010]
Pull- k	PSPACE	[Pereira et al. 2016b]	NP	[Ritt 2010]
Pull-*	PSPACE	[Pereira et al. 2016b]	NP	[Ritt 2010]
PullPull-1	PSPACE	[Pereira et al. 2016b]	PSPACE	[Pereira et al. 2016b]
PullPull- k	PSPACE	[Pereira et al. 2016b]	PSPACE	[Pereira et al. 2016b]
PullPull-*	PSPACE	[Pereira et al. 2016b]	PSPACE	[Pereira et al. 2016b]
PushPull-1	PSPACE	[Pereira et al. 2016b]	PSPACE	[Pereira et al. 2016b]
PushPull- k	PSPACE	[Pereira et al. 2016b]	PSPACE	[Pereira et al. 2016b]
PushPull-*	PSPACE	[Pereira et al. 2016b]	PSPACE	[Pereira et al. 2016b]
PushPushPullPull-1	PSPACE	[Pereira et al. 2016b]	PSPACE	[Pereira et al. 2016b]
PushPushPullPull- k	PSPACE	[Pereira et al. 2016b]	PSPACE	[Pereira et al. 2016b]
PushPushPullPull-*	PSPACE	[Pereira et al. 2016b]	PSPACE	[Pereira et al. 2016b]

Theorem 1. Pull- $\{1, k, *\}$ -Storage are PSPACE-complete.

In Pull-Storage problems we build the gadgets such that each movable block can be pulled to a unique goal location, prohibited moves that violate NCL constraints lead to unrecoverable states where a movable block cannot reach its goal location. Using these gadgets we show that all Pull-Storage problems are PSPACE-complete. Thus, now we know that these problems are at least as hard as their corresponding Push versions.

Theorem 2. PullPull- $\{1, k, *\}$ -Storage and Path are PSPACE-complete.

In PullPull-Path problems blocks do not have goal locations. Thus, we build the gadgets such that prohibited moves leave the man trapped unable to reach its goal location in a unrecoverable state. We were able to show that PullPull-* is PSPACE-complete, where the man can move an unlimited number of blocks at once while the equivalent Push version only is known to be NP-hard.

Theorem 3. PushPull- $\{1, k, *\}$ -Storage and Path are PSPACE-complete.

PushPull problems do not have unrecoverable states since every move is reversible. This makes it harder to build the gadgets. Because of this, there is no distinction in our gadgets between Storage and Path versions. Considering these difficulties, surprisingly we were able to show that PushPull-1-Path is PSPACE-complete while the much studied Push-1-Path and Pull-1-Path are NP-hard. The gadgets used to prove the PSPACE-hardness of PushPull-1-Path are more complex than those used in more relaxed versions that allow to move more blocks at once. This adds to the evidence that proving PSPACE-completeness of variants where only one block can be moved is harder than proving the same hardness results for k and * Path variants. Our proofs introduce novel ideas to NCL like buffer blocks which might help to close the knowledge gap about moving-blocks problems.

Theorem 4. $\text{PushPushPullPull-}\{1, k, *\}$ -Storage and Path are PSPACE-complete.

We were also able to show that enforcing more constraints does not alter the complexity of these problems.

2.2. Tie-Breaking Strategies for Moving-Blocks Problems

During the search, the guidance provided by the heuristic function might not be enough to optimally solve the problem. This is especially true for hard problems like moving-blocks problems. The standard tie-breaking approach used in heuristic search prioritizes lower heuristic function values.

We propose a new tie-breaking strategy that is based on structural information of the problem. An example is shown in Figure 1(b) where our technique estimates the order in which the goal locations must be filled. Our approach is effective in many problems, for example when applied to *Pukoban* ($\text{PushPull-1-Storage}$). Compared to the best previous proposed tie-breaking strategy our approach more than doubles the number of optimally solved instances.

2.3. PDB Heuristics for Moving-Blocks Problems

As explained above standard PDB heuristics are ineffective in moving-blocks problems. We solve this issue by introducing an approach that decomposes the original problem into two subproblems. Then, we use the PDB heuristic to compute the cost of solving the first subproblem (white locations in Figure 1(c)) and a minimum cost perfect matching in the complete bipartite graph to compute the cost of the second subproblem.

First, we prove that when the two subproblems are independent the resulting heuristic function is admissible. Second, we prove that the heuristic function is also admissible when the two subproblems are dependent if computed according to:

$$\min_{a \in A} \left[\sum_{P \in \mathcal{B}} \delta_{a(P)}(p(P)) + \sum_{(b,g) \in M^*} \delta(a(b), g) \right] + 2L,$$

where $\delta_{a(P)}(p(P))$ is the optimal cost stored in the PDB to solve a subset of movable blocks in the first subproblem, $\delta(a(b), g)$ is the relaxed cost to solve the second subproblem where all blocks are independent and $2L$ are pairs of adjacent blocks in the optimal path of each other. To guarantee admissibility of the heuristic function we find an assignment a that minimizes the sum of the cost to solve the two subproblems.

Using the proposed heuristic function we optimally solve more instances using less the time and memory than previous methods. Considering the set of 90 standard instances, in *Pukoban* we increase the number of optimally solved instances from 20 to 45 and in *Sokoban* from 10 to 28 compared to the best previous results. Given the exponential growth in the effort to solve these instances, the increase in the number of optimally solved instances represents a major advance in our understanding of how to optimally solve extremely hard problems.

2.4. Generalization to Other Problems

We present methods to show that our contributions can be effective in other problems. First, we applied a simple version of our tie-breaking strategy to 1050 instances divided

among 33 problems. Many of these problems model real-world applications. This simple version of our tie-breaking strategy increases the number of solved instances, including problems that are not transportation problems. These results indicate that stronger versions of our strategies could be used to improve the results for planning problems. Second, we also present experiments with simple versions of our heuristic functions in the *Airport* problem that models ground traffic control of airplanes in an airport. Our techniques increase the information provided by the heuristic function in the initial state, during the search and solve more instances optimally.

3. Final Remarks

Papers: We published the results of this thesis in the most prestigious conferences and journals in the areas of Artificial Intelligence and Theoretical Computer Science. In addition to the list below, two other papers with results of this thesis are being prepared for submission. The list of currently published papers follows:

- **[Pereira et al. 2016b] Theoretical Computer Science Journal (Qualis A1):** It is the top ranked journal on the field according to Google Scholar. The paper proves computational complexity results about moving-blocks problems.
- **[Pereira et al. 2015] Artificial Intelligence Journal (Qualis A1):** Considered the most important journal on Artificial Intelligence. The paper presents experimental and theoretical results about PDB heuristics and tie-breaking strategies with a focus on *Sokoban*.
- **[Pereira et al. 2016a] IJCAI Conference (Qualis A1):** Considered the most important conference on Artificial Intelligence. The paper introduces improved versions of our previous proposed methods.
- **[Corrêa et al. 2016] BRACIS Conference:** Evaluates the proposed methods on the *Airport* problem.
- **[Pereira et al. 2014b, Pereira et al. 2014a] ENIAC Conference and IJCAI Doctoral Consortium:** Introduces a PDB heuristic to detect unsolvability in *Sokoban*.
- **[Pereira et al. 2013] SoCS Conference:** A symposium specializing on combinatorial search. The paper presents the PDB heuristic with focus on *Sokoban*.

Impact: The impact of this thesis can be measured by the theoretical and experimental contributions to understand and optimally solve moving-blocks problems as well by its practical importance for applications. We prove computational complexity results for moving-blocks problems, including unexpected results. Our results answer open research questions and close the complexity research for some versions of the problems. Also, they show that many relaxations will not make these problems easier. Regarding optimal solutions, our methods are general and address an important limitation of PDB heuristics in transportation problems. We have currently the best published results on optimally solving *Sokoban*. This research was developed in collaboration with the well-known heuristic search group at the University of Alberta. A postdoc scholarship was granted by the Swiss Government Excellence Scholarships program to work at the University of Basel in their worldwide known planning group. However, the scholarship was declined to assume a position at UFRGS, but with the possibility of maintaining a research interaction with that group. Recent papers have been exploring techniques and research directions proposed by this thesis. For example, the paper [Asai and Fukunaga 2017] explores tie-breaking strategies for planning problems.

References

- Asai, M. and Fukunaga, A. (2017). Tie-Breaking Strategies for Cost-Optimal Best First Search. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 58:67–121.
- Corrêa, A. B., Pereira, A. G., and Ritt, M. (2016). Improved airport ground traffic control with domain-dependent heuristics. In *Brazilian Conference on Intelligent Systems*, pages 73–78.
- Culberson, J. (1999). Sokoban is PSPACE-complete. In *International Conference on Fun with Algorithms*, pages 65–76.
- Demaine, E. D., Hearn, R. A., and Hoffmann, M. (2002). Push-2-F is PSPACE-Complete. In *Canadian Conference on Computational Geometry*, pages 31–35.
- Demaine, E. D. and Hoffmann, M. (2001). Pushing blocks is NP-complete for noncrossing solution paths. In *Canadian Conference on Computational Geometry*.
- Demaine, E. D., Hoffmann, M., and Holzer, M. (2004). PushPush-k is PSPACE-Complete. In *International Conference on FUN with Algorithms*, pages 159–170.
- Hearn, R. and Demaine, E. D. (2005). PSPACE-completeness of sliding-block puzzles and other problems through the nondeterministic constraint logic model of computation. *Theoretical Computer Science*, 343(1-2):72–96.
- Hoffmann, J., Edelkamp, S., Thiébaux, S., Englert, R., dos Santos Liporace, F., and Trug, S. (2006). Engineering Benchmarks for Planning: The Domains Used in the Deterministic Part of IPC-4. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 26(1):453–541.
- Long, D. and Fox, M. (2003). The 3rd International Planning Competition: Results and Analysis. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 20:1–59.
- McDermott, D. M. (2000). The 1998 AI planning systems competition. *AI Magazine*, 21(2).
- O’Rourke, J. (1999). PushPush is NP-hard in 3D. Technical report, Smith College.
- Pereira, A. G., Holte, R., Schaeffer, J., Buriol, L. S., and Ritt, M. (2016a). Improved Heuristic and Tie-Breaking for Optimally Solving Sokoban. In *International Joint Conference on Artificial Intelligence*.
- Pereira, A. G., Ritt, M., and Buriol, L. S. (2013). Finding Optimal Solutions to Sokoban Using Instance Dependent Pattern Databases. In *Symposium on Combinatorial Search*.
- Pereira, A. G., Ritt, M., and Buriol, L. S. (2014a). Solving motion planning problems. In *International Joint Conference on Artificial Intelligence School - DC*.
- Pereira, A. G., Ritt, M., and Buriol, L. S. (2014b). Solving Sokoban Optimally using Pattern Databases for Deadlock Detection. In *Encontro Nacional de Inteligência Artificial*.
- Pereira, A. G., Ritt, M., and Buriol, L. S. (2015). Optimal Sokoban Solving using Pattern Databases with Specific Domain Knowledge. *Artificial Intelligence*, 227:52 – 70.
- Pereira, A. G., Ritt, M., and Buriol, L. S. (2016b). Pull and PushPull are PSPACE-complete. *Theoretical Computer Science*, 628:50 – 61.
- Ritt, M. (2010). Motion planning with pull moves. *CoRR*, abs/1008.2952:1–9.

Timing Optimization During the Physical Synthesis of Cell-Based VLSI Circuits

Aluno: Vinícius dos Santos Livramento¹

Orientador: Luiz Cláudio Villar dos Santos¹ Coorientador: José Luís Güntzel²

¹Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Automação e Sistemas (PGEAS)

²Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação (PPGCC)

^{1,2}Universidade de Santa Catarina (UFSC) - Florianópolis - SC - Brasil

vinilivramento@gmail.com, luiz.santos@ufsc.br, j.guntzel@ufsc.br

1. Introduction, Identification of the Target Problems, and Publications

The evolution of CMOS technology made possible integrated circuits with billions of transistors assembled into a single silicon chip, giving rise to the jargon Very-Large-Scale Integration (VLSI). VLSI circuits span a wide range class of applications, including Application Specific Circuits and Systems-On-Chip. The latter are responsible for fueling the consumer electronics market, especially in the segment of smartphones and tablets, which are responsible for pushing hardware performance requirements every new generation. The required clock frequency affects the performance of a VLSI circuit and induces timing constraints that must be properly handled by synthesis tools. This thesis focuses on techniques for timing closure of cell-based VLSI circuits, i.e. techniques able to iteratively reduce the number of timing violations until the synthesis of the synchronous digital system reaches the specified target frequency.

The design of most digital VLSI circuits follows the cell-based methodology, where the circuit description is mapped into a library of pre-characterized cells, placed in the chip surface, and routed. During the physical synthesis of VLSI circuits, several optimization techniques are used to iteratively reduce the number of timing violations until the target clock frequency is met. Although there has been research in timing optimization techniques for more than 30 years, the evolution and changes in the semiconductor industry is very rapid and new research and techniques must consider the challenges to be tackled for contemporary physical synthesis. Among the challenges to be tackled, three can be highlighted: 1) most physical synthesis problems belong to the NP-complete class; 2) the number of cells in modern circuit grows at a steep rate so as to address the increasing demand for new functionalities, and techniques must handle circuits with millions of cells; enough to handle circuits with millions of cells; 3) the time-to-market pressure leads to very fast turnaround time requirements. In short, very large instances of NP-complete problems must be solved quickly to cope with the runtime budget required by contemporary physical synthesis. This renders the need of very efficient algorithms and heuristics that must take advantage of problem specific characteristics and technology parameters. [Alpert et al. 2008]. This thesis targets two important timing optimization problems that affect the interconnect synthesis of VLSI circuits:

- **Problem 1: Incremental Timing-Driven Placement (ITDP)** aims is to relocate a subset of placed cells so as to minimize timing violations trying to achieve the specified clock period (to be able to run at the target clock frequency), while satisfying placement legality constraints [Kahng et al. 2011].
- **Problem 2: Incremental Timing-Driven Layer Assignment (ITLA)** aims to re-assign the routing metal layers of critical and non-critical net (interconnect) segments so as to minimize the circuit timing violations, while satisfying the routing capacity constraints [Alpert et al. 2012].

The solutions presented in this thesis bring innovations that were recognized by the scientific community, leading to 3 article publications [Livramento et al. 2014, Livramento et al. 2016b, Livramento et al. 2016a] and 5 conference papers [Guth et al. 2015, Livramento et al. 2015, Netto et al. 2016c, Netto et al. 2016b, Netto et al. 2016a]. Besides, the implementation of the proposed technique for Problem 1 was submitted to the international contest on Computer-Aided Design to allow a direct comparison of their results with other groups worldwide. This effort resulted in one first place award in the ACM/SIGDA ICCAD Contest on Incremental Timing-Driven Placement 2015 among 42 teams [Kim et al. 2015].

2. Related Work, and Scientific Contributions

2.1. Problem 1: Incremental Timing-Driven Placement

ITDP techniques can be classified into path-based and net-based. **Path-based** approaches minimize timing violations through accurate modeling of the timing of circuit paths, generally using linear programming. The main drawback of path-based techniques is their scalability in face of large circuits, due to the exponential number of paths to be optimized. **Net-based** techniques translate timing information into net-weights or net-length constraints and minimize a weighted wirelength objective. The basic idea of net-weighting techniques is to assign higher weights to critical nets so as to guide the placement engine towards shorter nets. Net-length techniques specify constraints on critical nets so as to bound their maximum lengths. Net-based techniques can be either static or dynamic. The main drawback of most net-based techniques is to rely on a single step to generate the net-weights, which may become inaccurate during the optimization process. In addition, most works on TDP found in the literature place sequential and combinational cells indistinguishably, overlooking the impact of register placement on the clock tree distribution. Since register placement largely affects both clock tree synthesis and timing closure, it should be properly coupled with ITDP so that the optimization obtained from one technique does not undermine the other's, avoiding disruptions on the quality of solution. Thus, the main contribution for Problem 1 is:

- **A novel incremental timing-driven placement formulation based on Lagrangian Relaxation:** A new Lagrangian Relaxation formulation for ITDP that minimizes the total negative slack for both setup and hold timing violations, where Lagrange multipliers are used as net weights and are dynamically updated with an accurate timing analyzer. To solve the formulation, this work proposes a technique that relies on a novel discrete search and employs Euclidean distance to define a proper neighborhood.

2.2. Problem 2: Incremental Timing-Driven Layer Assignment

Several layer assignment techniques perform **net-by-net** iterative improvement steps to accomplish the overall timing optimization. The main limitation of all such techniques results exactly from their net-by-net approach, which may lead to locally-optimal solutions, as highlighted in [Yu et al. 2015]. The very limited availability of wide and thick wires may lead to poor timing optimization when an inadequate net ordering is adopted. Besides, some of those techniques assume that all segments of a given net must share the same layer, which may induce over-allocation. A few techniques perform **all-net** simultaneous optimization to overcome the limitations of net-by-net strategies. Different models like network flow and semidefinite programming were employed. Unfortunately, the objective functions adopted in such works, namely the sum of net delays or the maximum net delay, turns out limiting potential improvements, since large net delays might not lead to a timing violation. Most importantly, the main limitation of all incremental layer assignment techniques reported so far lies in the simplified timing model adopted to guide the optimization. The mismatch between the estimated and the actual timing reported in industrial timing engines ranges may achieve up to 400%. Despite the clear inadequacy of overly pessimistic engines, the accurate timing analyzers available from conventional EDA packages were never used by any technique reported so far. We put this down to the opacity of such analyzers, which do not report timing information for inner net segments to protect their intellectual property. We realized that the key to overcoming their lack of inner observability is the exploitation of flow conservation conditions so as to extract inner timing information. Therefore, the main contribution for Problem 2 is:

- **A novel incremental layer assignment technique driven by an industrial timing engine:** The new approach handles simultaneously critical and non-critical segments and exploits flow conservation conditions to extract timing information for each net segment individually, thereby enabling the use of an external timing engine.

3. Proposed Problem Formulations

3.1. Problem 1: Incremental Timing-Driven Placement

The first target problem can be formulated as follows: **Clock-tree-aware ITDP**: Given a placement solution P , find a new placement solution P^* that minimizes clock tree capacitance and the total negative slack. We propose an approach to solve the target problem by solving two subproblems, which can be formulated as follows. **Subproblem 1 (IRP)**: Given a placement solution P , find a register relocation solution that minimizes clock tree capacitance and induces a new placement P' . **Subproblem 2 (ITDP)**: Given a placement P' , find a new placement P^* that minimizes the total negative slack. To properly address the target problem via decomposition, we tailored instances of the subproblems by appropriate choices of **constraints** and **objective functions**. To make sure that both subproblems find a legal placement solution, we ensure that the new cell locations are aligned to a standard cell site and to a row and do not overlap. To avoid that significant disruptions may impair the quality of the solutions provided by upstream optimization steps, an upper bound is enforced for the maximum displacement of every cell with respect to its initial location. To avoid major changes that may compromise the quality of solutions in upcoming optimization steps (e.g. routing), upper bounds are defined for signal wirelength and placement density increase.

As objective function for IRP, we adopt the local clock-tree wirelength, which comprises the wiring between local clock buffers and every sequential element driven by them. As objective function for ITDP, we adopt the sum of total negative slacks at timing endpoints (\mathcal{TE}) by taking into account both setup (late) and hold (early) timing violations. However, the evaluation of the latter objective function is more elaborate than the former. Let r_j^L (r_j^E) and a_j^L (a_j^E) denote the required and arrival times for late (early) scenarios. The objective function for ITDP could use them directly in the evaluation of negative slacks as follows: $\sum_{j \in PO} \min(0, r_j^L - a_j^L) + \sum_{j \in PO} \min(0, r_j^E - a_j^E)$. Unfortunately, the evaluation of arrival timing constraints at each primary output is hard to handle. That is why we cast the resulting instance of ITDP into a Lagrangian Relaxation formulation, a technique that approximates the optimal solution by removing the hard constraints and incorporating them into the cost function, as penalty terms, weighted by coefficients (λ) known as Lagrange Multiplier (LM). Besides, instead of using arrival times, we apply the well-known KKT conditions to simplify the objective function (L) so as to rely on late ($d_{i,j}^L$) and early ($d_{i,j}^E$) delays of a given cell j with respect to a cell i from its fanins (\mathcal{F}_j), as shown in Equation (1). Note that, in this case, each LM can be interpreted as a net-weight representing the criticality of a net i, j .

$$L : \sum_{c_j \in C} \sum_{i \in \mathcal{F}_j} \lambda_{i,j}^L d_{i,j}^L + \sum_{i \in \mathcal{F}_j} \lambda_{i,j}^E - d_{i,j}^E \quad (1)$$

3.2. Problem 2: Incremental Timing-Driven Layer Assignment

The layer assignment problem is defined over a 3D routing grid that can be modeled as a graph $G(V, E)$, where each vertex represents a G -cell and each edge represents the connectivity between two adjacent G -cells. The set of edges is a partition $E = E^w + E^v$, where E^w is the set of edges induced by the boundaries between G -cells in the same plane and E^v is the set of edges induced by vias. Each edge in E^w has a capacity that represents the number of detailed routing tracks allowed to pass through that edge. Therefore, assuming an initial 3D global routing solution, the incremental layer assignment problem can be stated as follows: given a set \mathcal{S} of net segments and a set \mathcal{L} of routing layers, re-assign the segment layers in order minimize timing violations. The problem is cast into a binary integer formulation that uses Lagrange Multipliers (λ_j^s) as weights to indicate the criticality of the nets. Therefore, the objective function in Equation (2) aims to assign one metal layer for each net segment to minimize the weighted summation of segment delay and lagrange multipliers. The Equation (3) encodes the binary decisions variables, while the Equations (4) ensures that each segment is assigned to one and only one layer. Finally, the constraint (5) ensures that the edge routing capacity between two adjacent G -cells in the same layer is not exceeded, where \mathcal{R}_i^k denotes the set of indices to each net segment routed through the edge e_i on layer l_q .

$$\text{Minimize} : \lambda_j^s \cdot \sum_{l_q \in \mathcal{L}} \delta_j^s q \cdot \alpha_{j,q}, \forall s_j \in \mathcal{S} \tag{2}$$

$$\text{Subject to} : \alpha_{j,q} \begin{cases} 1, & \text{if } s_j \in \mathcal{S} \text{ is assigned to } l_q \in \mathcal{L} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \tag{3}$$

$$: \sum_{l_q \in \mathcal{L}} \alpha_{j,q} = 1, \forall s_j \in \mathcal{S} \tag{4}$$

$$: \sum_{j \in \mathcal{R}_i^k} \alpha_{j,q} \leq c_{i,q}^e, \forall e_i \in E^w, \text{ and } \forall l_q \in \mathcal{L} \tag{5}$$

4. Proposed Techniques

4.1. Problem 1: Incremental Timing-Driven Placement

Since the proposed technique solves the Clock-Tree-Aware ITDP problem via decomposition, the question becomes what subproblem should be solved first. As the percentage of registers in a circuit is significant (10-15% on average), a large number of cells can be expected to be relocated during register placement to obtain a compact clock tree. This is likely to largely affect routability and circuit timing (as a result of the re-wiring between sequential and combinational elements). As a consequence, it would not be pragmatic to solve ITDP first because IRP would largely touch the standard cells (this would probably require ITDP to be applied anew). On the other hand, after incremental register placement, only the registers in critical paths would be touched by ITDP. Therefore, when ITDP is applied after register placement, little impact can be expected on clock tree wirelength. Since the latter order reduces the influence between optimization subproblems, that is the ordering adopted in our approach, whose overview is illustrated in Fig. 1 (a).

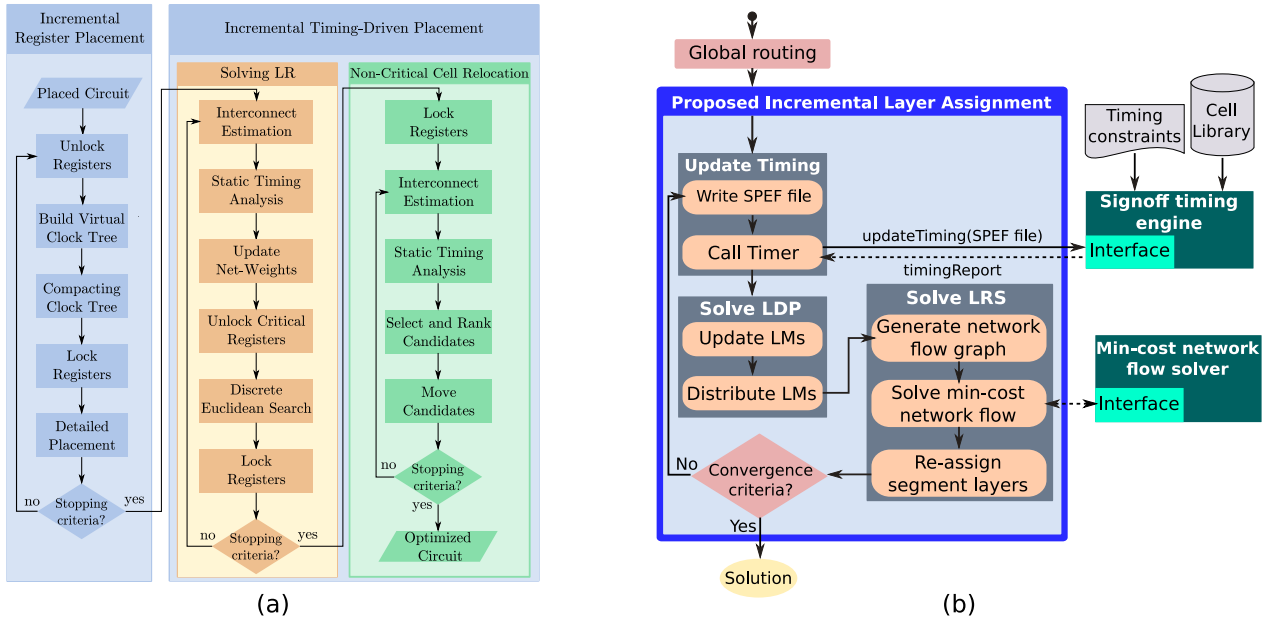


Figure 1. Flowcharts for the proposed techniques for (a) Problem 1 and (b) Problem 2.

The IRP subproblem employs a force-directed placement method to iteratively move each register to its ideal minimum-energy location. Such target location is obtained as the center of mass for parent and siblings. Since this step moves a large number of cells, it has a large impact on signal wirelength and placement density, affecting the circuit routability. Therefore, the proposed technique applies a detailed placement step to combinational cells only to keep registers out of congested areas and to recover from signal wirelength degradation. Our technique ensures that, after IRP, only critical registers are movable, i.e. those with negative slacks. This allows for relocating imbalanced latches from a positive slack side to a negative slack side. By doing so, we can improve the timing during ITDP with few register moves, thereby preserving the quality of

the previously obtained register placement solution. A static timing analysis tool is used to update the circuit timing information, which are used to update the net-weights to guide cell relocations, while a new discrete Euclidean search algorithm induces cell relocations. The last part of the proposed technique aims to exploit the optimization potential left behind by the ITDP technique. The basic idea is to move non-critical cells and reduce the capacitive load of cells belonging to the critical paths.

4.2. Problem 2: Incremental Timing-Driven Layer Assignment

Figure 1 (b) gives an overview of the proposed incremental layer assignment framework. It receives as input a 3D global routing solution. The incremental layer assignment problem is solved in three major steps. 1) *Update Timing* step first writes a parasitics file containing the distributed RC network information for the circuit. Then *Call Timer* invokes the external timing engine through a Tcl-socket. 2) *Solve LDP* updates LMs so as to increase or decrease their values proportionally to the severity of timing violations measured from the reported slacks. Then it distributes the LMs so as to comply with flow conservation conditions. 3) The last step selects critical and non-critical net segments and their respective target layers to generate the network flow graph. Then it invokes the network flow solver. Finally, it accomplishes the optimal assignment found by the min-cost flow solver. The three explained steps are repeated until predefined convergence criteria is reached.

5. Experimental Results and Comparisons with Related Works

The experimental validation of the proposed techniques relied on the ICCAD 2015 Contest infrastructure [Kim et al. 2015], which consists of consists of 8 industrial circuits with sizes between 768k and 1.93M cells.

5.1. Problem 1: Incremental Timing-Driven Placement

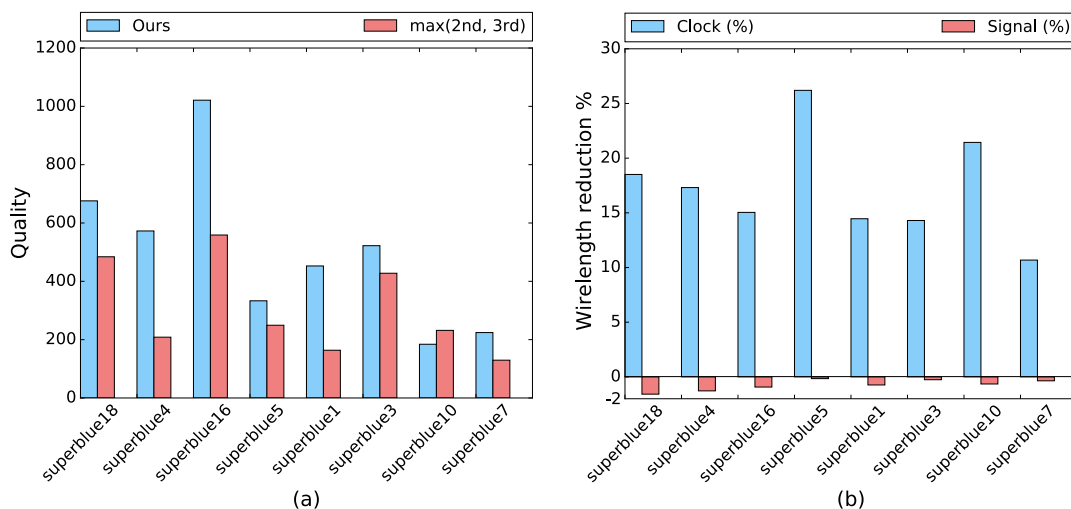


Figure 2. Comparison with related techniques under (a) quality metric and (b) wirelength reduction.

The proposed technique alone was submitted to the ICCAD Contest 2015 and produced results that were awarded the first place in that contest. That is why the experimental validation herein presented compares the proposed technique with those that obtained the 2nd and 3rd place in the ICCAD 2015 Contest, which represented the state-of-the-art of academic techniques. Figure 2 compares the proposed technique with the best results over the 2nd and 3rd techniques in the contest under 2 different metrics. Figure 2 (a) employs the contest quality metric [Kim et al. 2015] which casts both timing violation reduction and density penalty into a single number, where the proposed technique obtained an average improvement of 72%. Figure 2 (b) compares clock and signal wirelength. It shows that the proposed technique obtained an average improvement in clock-tree wirelength of 17%, with a low penalty of 0.7% in signal wirelength.

5.2. Problem 2: Incremental Timing-Driven Layer Assignment

The proposed technique was compared with the works TILA [Yu et al. 2015] and CPLA [Liu et al. 2016], which represented the state-of-the-art of academic works in timing-driven layer assignment. Figures 3 (a)

and (b) compares the obtained timing violation reductions under worst and total negative slack metrics, respectively. The comparison shows that the proposed technique obtained around 50% and 35% less timing violations than the two related techniques.

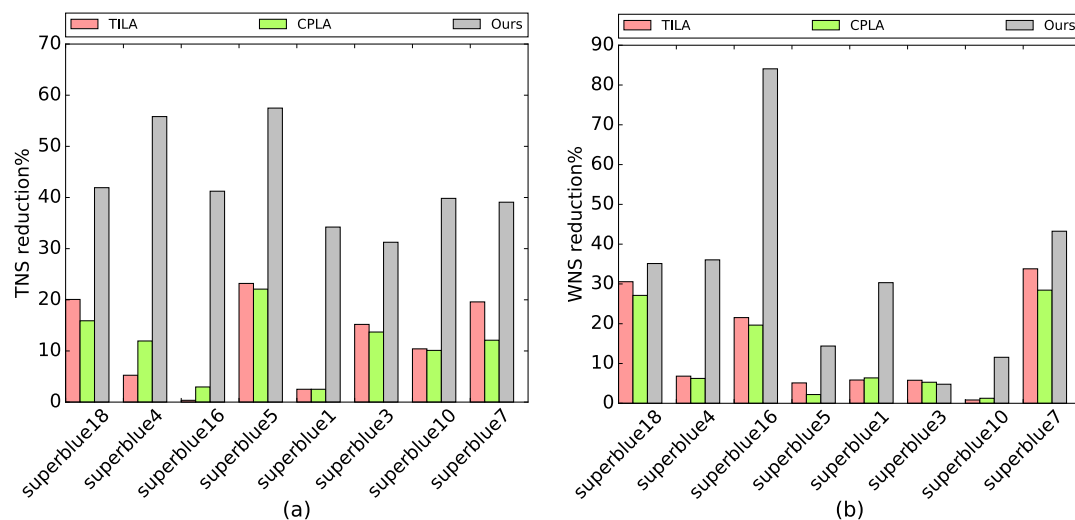


Figure 3. Comparison with related works under worst negative slack and total negative slack metrics.

6. Conclusion

The experimental results using benchmark suites derived from industrial circuits showed the effectiveness of the proposed techniques when compared with related works. Such results also reveal that LR is a powerful modeling technique for timing optimization. Since LR allows for decoupling optimization from timing analysis, it is possible to employ simplified delay models inside the optimization engine while still being guided by accurate slacks computed inside the timing analyzer.

References

- Alpert, C., Li, Z., Nam, G.-J., Sze, C. N., Viswanathan, N., and Ward, S. I. (2012). Placement: hot or not? In *ACM International Conference on Computer-Aided Design*, pages 283–290.
- Alpert, C. J., Mehta, D. P., and Sapatnekar, S. S. (2008). *Handbook of algorithms for physical design automation*. CRC Press.
- Guth, C., Livramento, V., Netto, R., Fonseca, R., Güntzel, J. L., and Santos, L. (2015). Timing-driven placement based on dynamic net-weighting for efficient slack histogram compression. In *ACM International Symposium on Physical Design*, pages 141–148. (Best Paper Candidate).
- Kahng, A. B., Lienig, J., Markov, I. L., and Hu, J. (2011). *Vlsi physical design: From graph partitioning to timing closure*. page 310. Springer.
- Kim, M.-C., Hu, J., Li, J., and Viswanathan, N. (2015). Iccad-2015 cad contest in incremental timing-driven placement and benchmark suite. In *IEEE/ACM International Conference on Computer-Aided Design*, pages 921–926.
- Liu, D., Yu, B., Chowdhury, S., and Pan, D. Z. (2016). Incremental layer assignment for critical path timing. In *Design Automation Conference*, pages 85:1–85:6. ACM.
- Livramento, V., Guth, C., Netto, R., Güntzel, J. L., and dos Santos, L. C. (2015). Exploiting non-critical steiner tree branches for post-placement timing optimization. In *IEEE/ACM International Conference on Computer-Aided Design*, pages 528–535.
- Livramento, V., Liu, D., Chowdhury, S., Yu, B., Xu, X., Pan, D. Z., Guntzel, J. L., and dos Santos, L. C. (2016a). Incremental layer assignment driven by an external signoff timing engine. *IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems*.
- Livramento, V., Netto, R., Guth, C., Güntzel, J. L., and Dos Santos, L. C. (2016b). Clock-tree-aware incremental timing-driven placement. *ACM Transactions on Design Automation of Electronic Systems*, 21(3):38.
- Livramento, V. S., Guth, C., Güntzel, J. L., and Johann, M. O. (2014). A hybrid technique for discrete gate sizing based on lagrangian relaxation. *ACM Transactions on Design Automation of Electronic Systems*, 19(4):40.
- Netto, R., Guth, C., Livramento, V., Castro, M., Pilla, L. L., and Güntzel, J. L. (2016a). Exploiting parallelism to speed up circuit legalization. In *IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems*, pages 624–627.
- Netto, R., Livramento, V., Guth, C., dos Santos, L. C., and Güntzel, J. L. (2016b). Evaluating the impact of circuit legalization on incremental optimization techniques. In *IEEE Symposium on Integrated Circuits and Systems Design*, pages 1–6.
- Netto, R., Livramento, V., Guth, C., dos Santos, L. C., and Guntzel, J. L. (2016c). Speeding up incremental legalization with fast queries to multidimensional trees. In *IEEE Computer Society Annual Symposium on VLSI*, pages 36–41.
- Yu, B., Liu, D., Chowdhury, S., and Pan, D. Z. (2015). TILA: Timing-driven incremental layer assignment. In *IEEE/ACM International Conference on Computer-Aided Design*, pages 110–117.

Sensitive-Video Analysis

Daniel Moreira¹, Siome Goldenstein¹, Anderson Rocha¹

¹Instituto de Computação – Universidade Estadual de Campinas (Unicamp)
Campinas – SP – Brazil

{daniel.moreira, siome, anderson.rocha}@ic.unicamp.br

Abstract. *Sensitive videos that may be inadequate to some audiences (e.g., pornography and violence, towards underages) are constantly being shared over the Internet. Employing humans for filtering them is daunting. The huge amount of data and the tediousness of the task ask for computer-aided sensitive video-analysis, which we tackle in two ways. In the first one (sensitive-video classification), we explore efficient methods to decide whether or not a video contains sensitive material. In the second one (sensitive-content localization), we explore manners to find the moments a video starts and ceases to display sensitive content. Hypotheses are stated and validated, leading to contributions (papers, dataset, and patents) in the fields of Digital Forensics and Computer Vision.*

1. Introduction

We can define sensitive video as every motion picture whose content may pose threats to inappropriate audiences (e.g., children or unwary spectators). Typical representatives include scenes depicting pornography, violence, animal cruelty, child abuse, etc.

Due to the present easiness and multitude of ways to produce, share, and send video streams over the Internet, the diversity of content is untold. Within such diversity, it is not hard to imagine that some streams may be sensitive, thus demanding somebody to filter them. However, the employment of humans to frequently analyze large troves of sensitive data often leads to stress and trauma, justifying the research for computer-aided analysis, for alleviating the job of moderators.

Notwithstanding, automated sensitive-video analysis is a challenging problem. Besides the increasingly large amount of data to be analyzed, nowadays, video playing and online live streaming happen mostly on mobile devices, practically anywhere, in myriad of potentially-inappropriate situations (e.g., at work, schools, etc.). How to design ubiquitous and efficient solutions, which can operate on the consumer side, even on devices with limited hardware is the question of the day. Moreover, there are situations in which the detection of sensitive content is urgent. That happens, for example, in Forensic scenarios, in which the fast identification of child pornography, among millions of files, may allow catching red-handed criminals. In addition to such challenges, the literature of sensitive-video analysis has consistently reported that the incorporation of video motion information improves the final system effectiveness, at the expense of demanding high computational power. As a consequence, the performance is usually impaired, specially in terms of memory footprint and runtime.

Observations and questions such as the aforementioned ones have driven us toward the statement of the following research hypotheses, which guided the development of the Ph.D. thesis at hand:

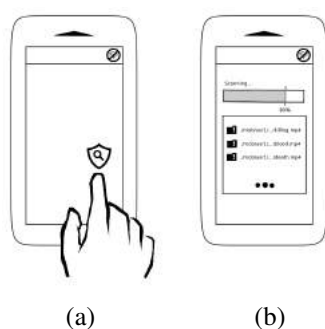


Figure 1. Application example of sensitive-video classification in a smartphone. In (a), the user activates a scanning app for sensitive content, and in (b), the app enlists the sensitive (e.g., violent) videos, with a progress bar depicting the scanning progress.

- H1** It is possible to efficiently use video temporal information for effective sensitive-content classification, regarding low-memory footprint¹ and small processing time², by combining simplified space-temporal video interest-point detection and description, with entire-footage representation through a single feature vector.
- H2** It is possible to localize sensitive content within the video timeline by means of the classification and fusion of time-overlapping video snippets³.

As one might observe, for the sake of research scope definition, we tackle the problem of sensitive-video analysis as either (i) a problem of classifying sensitive video content, or (ii) a problem of localizing sensitive content within the video timeline. As a direct result of that, the present work is divided into two parts. In Section 2 we explain the *Part I* of the research, which is respective to *Sensitive-Video Classification*, while in Section 3, we focus on the *Part II*, which is related to *Sensitive-Content Localization*. Regardless of such division, in Section 4, we summarize the accomplishments of the research, while conclusions and future work are discussed in Section 5.

2. Sensitive-Video Classification

Sensitive-video classification is the decision problem of determining whether or not a given video stream has *any* occurrence of a particular sensitive content. Figure 1 depicts a possible application of a sensitive-video classifier.

Focusing on the task at hand, and keeping hypothesis *H1* in mind, we introduce an end-to-end pipeline for motion-aware sensitive-video classification, which is designed to be efficient (i.e., to be fast and to present low-memory footprint). Such pipeline consists of a three-level Bag-of-Visual-Words (BoVW) -inspired solution, which efficiently employs temporal information as an effective discriminative clue for video classification. It incorporates temporal information in the low and mid levels, by means of a novel space-temporal interest point detector and video descriptor — namely Temporal Robust Features (TRoF) — and entire-footage mid-level feature pooling, respectively. It relies on Gaussian-Mixture-Models (GMM)-based codebooks, Fisher Vectors, and a linear Support Vector Machine (SVM), one of the most effective combinations that were ever reported in the BoVW-related literature. It is of general purpose, in the sense that it can be used — without step modifications — for the detection of diverse sensitive content types (e.g., gore scenes, child abuse, cruelty to animals, etc.) thus broadening the scope and applications of the present research.

¹We consider that a solution has low-memory footprint, if it is at least amenable to deployment on contemporary (as of 2015 and 2016) mobile devices, such as smartphones and tablets.

²Preferably close to real time, i.e., 24-30 frames per second.

³A snippet is any video excerpt, with arbitrary length.

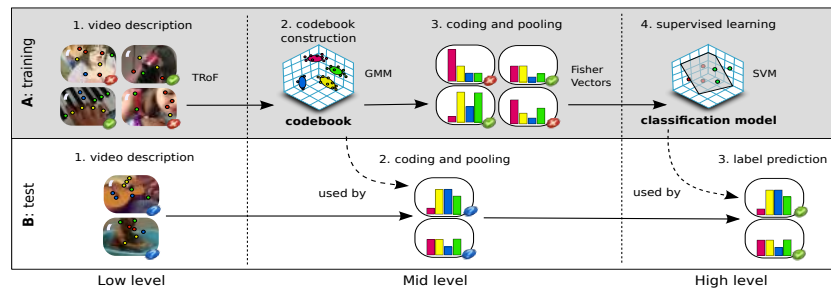


Figure 2. The three-level proposed pipeline for sensitive-video classification. On the top, the darker box depicts the training phase, in which the system is fed with labeled videos. On the bottom, the lighter box depicts the test phase, in which the system predicts the label of arbitrary videos.

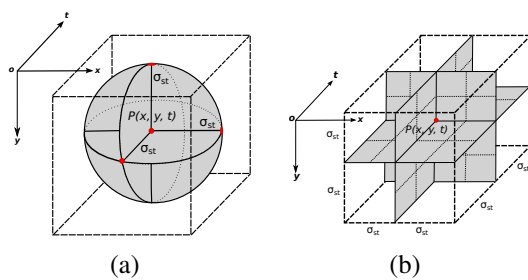


Figure 3. TRoF voxel samplings. The gray areas refer to the described voxels, which are arranged around position $P(x, y, t)$, obeying a spatio-temporal scale of $2\sigma_{st}$. P and σ_{st} come from a formerly detected interest point, and refer to its position and interest scale. (a) SURF-based sampling. (b) HOG-based sampling.

Figure 2 depicts the proposed pipeline, with the inherent three levels. For a more detailed representation, please refer to Figure 3.1 in the original text. Within such pipeline, efficiency mainly relies upon the use of TRoF: an interest point detector and video descriptor that accounts for a lightweight space-temporal alternative, when compared to the more computationally intensive space-temporal solutions from the literature. It is fast and presents low-memory footprint, what makes it amenable to run on limited hardware, such as mobile devices. To reach such efficiency, TRoF relies on a sparse strategy, which detects an optimized amount of space-temporal interest points within the video timeline. The detection process is Hessian-based, and is underpinned by the concepts of integral videos and box filters for fast computation. The description process, in turn, is optimized by selecting only a small amount of video voxels around the previously detected interest points.

Figure 3 depicts the two explored voxel-sampling strategies within the TRoF video description process. For a complete explanation, please refer to Section 3.2 in the original text. TRoF detection capabilities can be watched through illustrative animated videos (please refer to videos [Moreira 2016, Moreira 2017] online).

We validate the TRoF-based pipeline for both pornographic and violent content classification. In summary, TRoF constitutes an interesting alternative for dealing with the effectiveness vs. efficiency tradeoff. By means of the performed experiments, we verify that, in spite of not being statistically different to state-of-the-art space-temporal video descriptors, the proposed solution can reach real-time performance, and presents the lowest memory footprint. In addition, with a classification accuracy of 93%, it remarkably outperforms four third-party off-the-shelf pornography detectors, including two commercial products, by providing an error reduction of over 45%. Results are published in detail through a journal [Moreira et al. 2016] (regarding pornography classification) and a conference paper [Moreira et al. 2017b] (regarding violence classification). According to such results, we found strong evidence that hypothesis *H1* is valid.

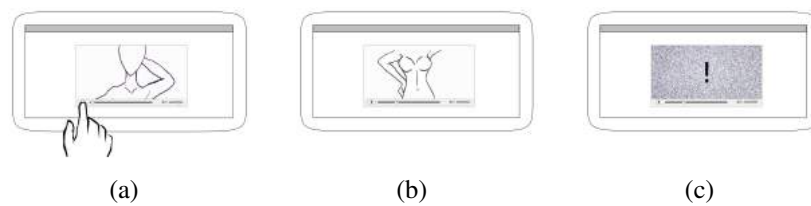


Figure 4. Application example of sensitive-content localization. In (a), the user starts to play a chosen video, within a tablet, through a safe video player. In (b), the video that is being played is about to show sensitive content (pornographic). In (c), the pornographic scenes are properly censored.

3. Sensitive-Content Localization

Sensitive-content localization is the search problem of finding sensitive scenes within a video timeline. A sensitive-content locator must return the time intervals a video stream starts and ceases to display sensitive content. Figure 4 depicts a possible application.

Focusing on the task at hand, and with hypothesis *H2* in mind, we design a novel high-level multimodal fusion pipeline for sensitive-content localization, which is based on the combination of different and independent sensitive-snippet classifiers. In summary, we recommend classifying the content of distinct time-overlapping snippets, in order to provide a dense sampling and a dense classification of the video timeline. For integrating the snippet classifiers, we introduce a new late fusion technique, which seamlessly combines the sensitiveness scores that are returned by each classifier. Scores that refer to the same video instant of interest are used to generate a single time-localized fusion feature vector. From the many generated time-localized fusion feature vectors, we learn which ones better represent sensitive and non-sensitive video moments, by employing machine-learning techniques (such as Naïve Bayes Classification and SVM). Given that such fusion vectors are composed of prior sensitiveness-classification scores, we essentially propose a meta-learning solution. Besides that, since each snippet classifier can freely rely on a particular data modality (e.g., still video frames, audio stream, video space-time, etc.), the proposed solution has an important multimodal capability.

Figure 5 depicts the training steps of the proposed pipeline for a particular toy case, with two snippet classifiers, and snippet alignments of three training movies. For the sake of illustration, the alignment of snippets is represented in activity 2 (*Snippet Alignment*), while the resulting fusion vectors are depicted in activity 3 (*Fusion Vector Extraction*). For a more detailed description, please refer to Chapter 6 in the original text.

We validate the solution for both pornographic and violent content localization, combining visual and auditory features. In the particular case of pornography, we fail at identifying around only five minutes in every hour of pornographic content, indicating a reasonable content filter. In the particular case of violence, the present pipeline has led us to reach second place in an international competition of violent scenes localization [Avila et al. 2014].

Figure 6 shows an impressive qualitative result of pornographic content localization over a 1.5-minute long video sample. Mislocalization is represented by black dots, which are only a few, around the instants of transition from non-pornographic (in white) to pornographic (in red) content, and vice-versa. Please refer to the original text for more easy and difficult examples.

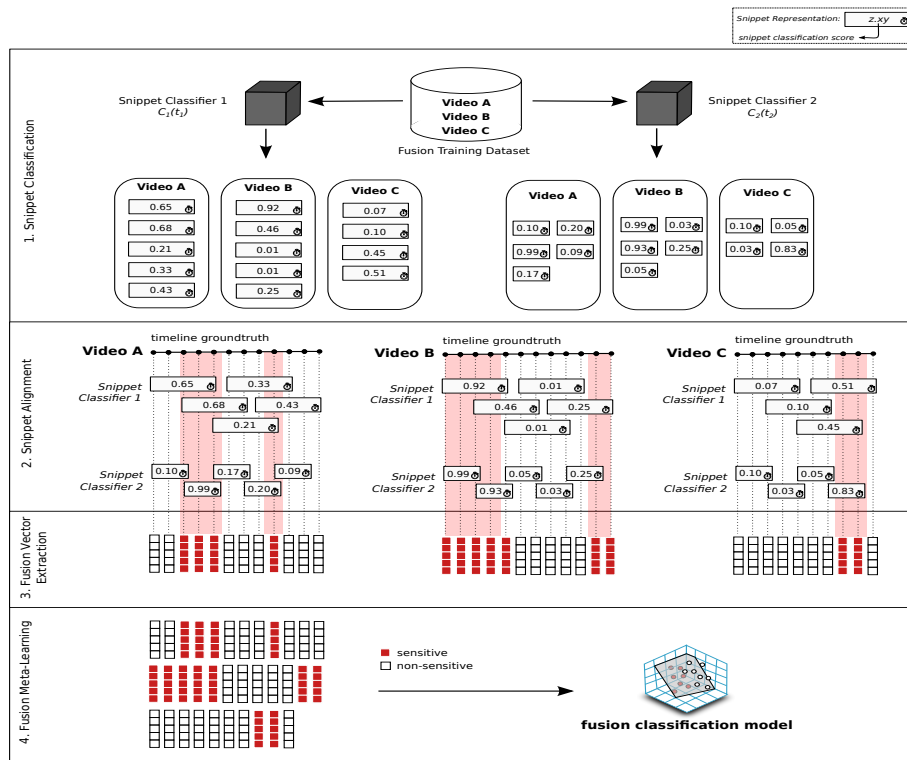


Figure 5. Toy-case example of the proposed fusion training pipeline. The method starts with the submission of *Videos A, B, and C* to two different snippet classifiers that need to be fused (classifiers $C_1(t_1)$ and $C_2(t_2)$). The method ends with a meta-learned fusion classification model, which must be stored for further use, during the test system operation.



Figure 6. Localization quality over a 1.5-minute long pornographic video sample. Red and white areas depict the localization groundtruth: red for positive, and white for negative. Black dots represent the mislocalization: the lesser their quantity, the better the result.

As an important additional contribution, we also introduce the *Pornography-2k* dataset, a large frame-level-annotated pornographic video dataset that is useful for pornographic content localization, since we provide frame-level annotation for its 140 hours of video footage. To the best of our knowledge, *Pornography-2k* is the first freely-available pornographic dataset in the literature that provides binary annotation (i.e., pornographic vs. non-pornographic) for every one of its frames.

Regardless of the target sensitive concept, the present pipeline was subject to the deposit of two patents, in partnership with Samsung Electronics, one in the Brazilian National Institute of Industrial Property (INPI) [Avila et al. 2016a], and the other in the United States Patent and Trademark Office (USPTO) [Avila et al. 2016b]. Finally, it was submitted to the scientific community’s appreciation by means of a journal paper [Moreira et al. 2017a], yet under revision.

According to the results that are discussed in Chapters 7 and 8 of the original text, we found strong evidence that hypothesis $H2$ is valid.

4. Research Accomplishments

In summary, the main accomplishments of this research are:

- Two patent filings, one deposited in INPI [Avila et al. 2016a], and the other deposited in USPTO [Avila et al. 2016b].
- Patent licensings to Samsung Electronics and subsequent technology transfer.
- Two journal publications, one already published [Moreira et al. 2016], and the other under review [Moreira et al. 2017a].
- Three conference papers [Avila et al. 2014, Moreira et al. 2015, Moreira et al. 2017b].
- Second-place award in an international competition of video violence localization [Avila et al. 2014].

5. Conclusions and Future Work

By verifying the stated hypotheses, the Ph.D. thesis at hand contributes to the fields of Digital Forensics and Computer Vision with the following novelties:

- End-to-end pipeline for efficient motion-aware sensitive-video classification.
- Space-temporal video interest point detector and video content descriptor (TRoF).
- High-level multimodal fusion pipeline for sensitive-content localization.
- Large frame-level-annotated pornographic video dataset.

The proposed solutions are generic enough to be straightforwardly applied for different types of sensitive content. For validation, experiments are conducted for the *classification* of video *pornography* and of video *violence*, as well as for the *localization* of *pornographic* content, and of *violent* content, leading to interesting results. As future work, other types of sensitive content can be validated (e.g., child pornography), as well as the fusion with the now popular deep learning strategies can be investigated.

References

- Avila, S., Moreira, D., Perez, M., Moraes, D., Cota, I., Testoni, V., Valle, E., Goldenstein, S., and Rocha, A. (2014). RECOD at MediaEval 2014: Violent Scenes Detection Task. In *MediaEval*, pages 1–2.
- Avila, S., Moreira, D., Perez, M., Moraes, D., Testoni, V., Valle, E., Goldenstein, S., and Rocha, A. (2016a). Método Multimodal e em Tempo Real para Filtragem de Conteúdo Sensível. Patent BR 10 2016 007265 4.
- Avila, S., Moreira, D., Perez, M., Moraes, D., Testoni, V., Valle, E., Goldenstein, S., and Rocha, A. (2016b). Multimodal and Real-Time Method for Filtering Sensitive Media. Patent US 15/198,626.
- Moreira, D. (2016). <https://www.youtube.com/watch?v=ZfaW5kvXjMo>.
- Moreira, D. (2017). <https://www.youtube.com/watch?v=yoV4b1CQ1aY>.
- Moreira, D., Avila, S., Perez, M., Moraes, D., Testoni, V., Valle, E., Goldenstein, S., and Rocha, A. (2015). RECOD at MediaEval 2015: Affective Impact of Movies Task. In *MediaEval*, pages 1–2.
- Moreira, D., Avila, S., Perez, M., Moraes, D., Testoni, V., Valle, E., Goldenstein, S., and Rocha, A. (2016). Pornography Classification: The Hidden Clues in Video Space-Time. *Elsevier Forensic Science International*, 268:46–61.
- Moreira, D., Avila, S., Perez, M., Moraes, D., Testoni, V., Valle, E., Goldenstein, S., and Rocha, A. (2017a). Multimodal Data Fusion for Sensitive Scene Localization. *Elsevier Information Fusion (under review)*.
- Moreira, D., Avila, S., Perez, M., Moraes, D., Testoni, V., Valle, E., Goldenstein, S., and Rocha, A. (2017b). Temporal Robust Features for Violence Detection. In *IEEE WACV*, pages 392–399.

Controle de Congestionamento de Veículos Utilizando Sistemas de Transporte Inteligentes

Allan M. de Souza¹, Leandro A. Villas¹ (Orientador)

¹Instituto de Computação – UNICAMP
Avenida Albert Einstein, 1251 – 13.083-852 – Campinas-SP, Brasil
allanms@lrc.ic.unicamp.br, leandro@ic.unicamp.br

Resumo. *Mobilidade em grandes centros urbanos tornou-se um grande desafio devido aos congestionamentos de veículos recorrentes. Nesse contexto, Sistemas de Transporte Inteligentes emergiram para melhorar a eficiência do tráfego de veículos, porém, como detectar tais congestionamentos, principalmente na ocorrência de incidentes inesperados, e como controlá-los ainda são problemas em aberto. Este trabalho destina-se não apenas a evitar a iminência de congestionamentos mediante à incidentes inesperados, como também detectar, classificar e controlar congestionamentos constantes. Além disso, devido as características inerentes das redes veiculares, um novo protocolo para disseminação de alertas em redes veiculares foi proposto. As soluções propostas têm sido extensivamente comparadas com o estado da arte e os resultados mostram que elas são mais eficientes para reduzir os congestionamentos e melhorar a mobilidade em centros urbanos. Esta dissertação resultou em três artigos em periódicos e 8 trabalhos em conferências.*

1. Introdução

Gargalos na infraestrutura de transporte, incidentes inesperados e o grande aumento no número de veículos devido ao crescimento populacional, geram diversos problemas de mobilidade nos grandes centros urbanos [de Souza et al. 2017]. Diante desse cenário, congestionamentos tornam-se um problema recorrente, não só provocando uma imprevisão do tempo de viagem, mas também gerando outros problemas, incluindo degradação da qualidade de vida, impactos negativos na economia regional e danos ambientais [de Souza et al. 2016a].

Os prejuízos causados pelos congestionamentos são evidentes. Só na cidade de São Paulo já ultrapassam a ordem de 50 bilhões por ano, onde, 85% estão relacionados ao tempo perdido, 13% ao consumo de combustível e 2% em emissões de gases poluentes, respectivamente [Cintra 2013]. Dessa forma, a fim de minimizar os congestionamentos e seus danos, Sistemas de Transporte Inteligentes (ITS - *Intelligent Transportation Systems*) emergiram [de Souza et al. 2017, Djahel et al. 2015]. Utilizando Redes Veiculares (VANETs - *Vehicular Ad hoc Networks*) como um de seus pilares, os ITSs permitem a integração e comunicação entre sensores, veículos e infraestruturas [de Souza et al. 2016a].

Por outro lado, Google Maps, TomTom e WAZE são algumas soluções existentes para minimizar os congestionamentos baseados em recomendações de rotas alternativas [Djahel et al. 2015]. Entretanto, essas soluções estão longe de atingirem os objetivos de um ITS e possuem limitações como: i) ausência de um mecanismo para planejamento de rota dinâmica, ii) não evitam o surgimento de congestionamentos causados por eventos inesperados e iii) as rotas sugeridas podem potencialmente transferir congestionamentos para outras áreas [de Souza et al. 2016a].

Para superar as limitações supracitadas, ITSs baseiam-se em informações reportadas periodicamente pelos veículos, incluindo velocidade média, posição e

rota [Pan et al. 2016, Doolan and Muntean 2016]. Com essas informações, é possível construir um conhecimento sobre as condições de tráfego, e então, calcular rotas mais eficientes para os veículos. Porém, essas soluções não classificam os níveis de congestionamentos, assim, apenas empregam mecanismos para detecção de congestionamentos em intervalos pré-definidos. Sendo assim, essas soluções não detectam congestionamentos causados por eventos inesperados e também potencialmente detectam congestionamentos recorrentes muito tempo após sua ocorrência. Além disso, ITSs propostos em [Pan et al. 2012, Doolan and Muntean 2016] podem incorrer em roteamentos ineficientes, ou seja, podem potencialmente criar congestionamentos em outros locais. Por fim, é importante salientar que nenhum desses ITSs empregam mecanismos para tratar os problemas relacionados as VANETs, como por exemplo, a sobre carga da rede devido a transmissões de mensagens redundantes ou múltiplas transmissões em um curto intervalo de tempo conhecidos como *broadcast storm problem*.

Soluções do estado da arte para controle de congestionamentos de veículos apresentam limitações, como troca de mensagens ineficiente, ausência de um mecanismo para controlar congestionamentos causados por eventos inesperados, intervalo de roteamento pré-definido e sugestões de rotas imprecisas [Bakhouya et al. 2011, Kim et al. 2008, Pan et al. 2012, Brennan et al. 2015, Doolan and Muntean 2016]. Com o intuito de minimizar o problema de *broadcast storm* em VANETs, diversas soluções foram propostas [Cunha et al. 2016]. Entretanto, nenhuma dessas soluções consideram o problema de sincronização introduzida pelo padrão IEEE 802.11p (descrito na Seção 2.2.2 em [de Souza 2016]), o qual é causado pela troca de canais empregada pelo padrão e degrada a performance do processo de disseminação de alertas em VANETs.

Para superar as limitações supracitadas, na dissertação, foram propostas soluções capazes de evitar a iminência de congestionamentos durante a ocorrência de incidentes inesperados, soluções para detectar, classificar e controlar congestionamentos recorrentes e um protocolo de disseminação de alertas ciente do problema de sincronização introduzido pelo padrão IEEE 802.11p utilizado nas VANETs. As soluções propostas avançam o estado da arte em detecção, classificação e controle de congestionamentos de veículos. Portanto, este trabalho tem potencial para melhorar a eficiência do tráfego de veículos em grandes centros urbanos, o que é uma necessidade nos dias de hoje. Em outras palavras, as soluções propostas apresentam uma melhor utilização da rede, maximizando a cobertura e reduzindo o número de transmissões, número de colisões e atraso. Além disso, melhoram a eficiência do tráfego de veículos reduzindo tempo de viagem, tempo de congestionamentos, consumo de combustível e emissão de gases poluentes.

2. Principais Contribuições

As principais contribuições da dissertação são as soluções propostas para: (i) disseminação de alertas em VANETs ciente do broadcast storm e sincronização introduzida pelo padrão IEEE 802.11p; (ii) controle de congestionamentos causados por incidentes inesperados; (iii) detecção, classificação e controle de congestionamentos recorrentes; e (iv) um algoritmo para o roteamento de veículos baseado em uma abordagem cooperativa.

Em resumo, podemos listar as seguintes contribuições:

1. *Um protocolo para disseminação de alertas que trata os problemas broadcast storm e sincronização introduzida pelo padrão IEEE 802.11p.*

Para minimizar o problema de *broadcast storm*, foi proposto um mecanismo baseado em atraso que prioriza veículos mais distantes para continuar o processo de

disseminação. Além disso, foi proposto um mecanismo ciente da troca de canais para evitar a sincronização introduzida pelo padrão IEEE 802.11p. As Seções 4.3 e 4.5.1 em [de Souza 2016] apresentam a descrição detalhada do protocolo proposto e os resultados obtidos. Em resumo, os resultados mostram que o protocolo proposto apresenta uma cobertura maior que 90%, reduz em até 68% a quantidade de mensagens transmitidas e reduz em 80% a colisão de mensagens, quando comparado com as soluções da literatura: Flooding, AID [Bakhouya et al. 2011], DBRS [Kim et al. 2008], DRIVE [Villas et al. 2014].

2. *Uma solução pró-ativa distribuída para evitar a iminência de congestionamentos causados por incidentes inesperados.*

A solução proposta, descrita em detalhes no Capítulo 4 de [de Souza 2016], é composta por três módulos: (i) detecção de eventos inesperados; (ii) disseminação de alerta; e (iii) gerenciamento do tráfego. Em linhas gerais, ao detectar um evento inesperado, como por exemplo acidentes de trânsito, a solução cria uma mensagem de alerta contendo informações do local do incidente e, aplicando o protocolo de disseminação de alertas (descrito no item 1), os veículos que se aproximam do local do incidente são alertados durante a fase de disseminação de alerta. Sendo assim, ao receber um alerta, os veículos são capazes de identificar se irão passar pelo local do incidente e calcular uma rota alternativa se necessário, assim, evitando o surgimento de congestionamentos no local. Os resultados mostram a eficiência da solução proposta, onde foi obtida uma redução no tempo de viagem em pelo menos 32% e uma redução no tempo de congestionamento em pelo menos 88%, quando comparada com as soluções da literatura DSP [Pan et al. 2012], RkSP [Pan et al. 2012] e *With Routing* [Brennand et al. 2015].

3. *Uma solução eficiente para detecção, classificação e controle de congestionamentos recorrentes*

A solução proposta, descrita em detalhes no Capítulo 5 em [de Souza 2016], utiliza um classificador baseado no algoritmo de *K-Nearest Neighbors* para detectar e classificar vias congestionadas [de Souza et al. 2016b]. Portanto, após detectar e classificar as vias congestionadas, a solução emprega um mecanismo eficiente para balanceamento de tráfego nas vias, consequentemente melhorando a eficiência do tráfego. Sendo assim, diferentemente das soluções da literatura, as quais detectam congestionamentos apenas em intervalos pré-definidos, a solução proposta permite detectar os congestionamentos assim que os mesmos ocorrem, permitindo controlá-los de forma mais efetiva. Os resultados mostram a eficiência da solução para detecção, classificação e controle de congestionamentos, onde foi possível reduzir o tempo de viagem e de congestionamento em até 24% e 67% respectivamente, quando comparada com as soluções da literatura DSP [Pan et al. 2012], RkSP [Pan et al. 2012] e *With Routing* [Brennand et al. 2015].

4. *Um algoritmo para roteamento de veículos que utiliza uma abordagem cooperativa [de Souza et al. 2015]*

O algoritmo cooperativo para roteamento de veículos, descrito em detalhes na Seção 5.4.2 em [de Souza 2016], visa distribuir melhor o tráfego de veículos. Assim, ao invés de calcular as melhores rotas para cada veículo (i.e., caminhos mínimos), o mesmo calcula rotas visando maximizar o fluxo de veículos na infraestrutura viária disponível. Portanto, alguns veículos podem per-

correr distâncias maiores quando comparado com os caminhos mínimos, entretanto, as rotas sugeridas pelo algoritmo cooperativo contribui diretamente para um melhor fluxo de veículos, conseqüentemente reduzindo os congestionamentos. Os resultados mostram as vantagens da solução cooperativa, o algoritmo cooperativo proposto reduz o tempo de viagem e de congestionamentos em até 10% e 15% respectivamente, quando comparado com as soluções propostas em [Pan et al. 2012, Brennand et al. 2015, de Souza et al. 2016b].

Por fim, é importante salientar que a combinação de todas essas soluções deu origem ao ICARUS (*Improvement of Traffic Condition through an Alerting and Re-routing System*) [de Souza et al. 2016a], um sistema de gerenciamento de tráfego para melhorar a eficiência da infraestrutura de transporte. O ICARUS é capaz de detectar a origem dos congestionamentos e controlá-los devidamente de acordo com a origem. Em outras palavras, ICARUS é capaz de controlar efetivamente tanto congestionamentos causados por incidentes inesperados, quanto congestionamentos recorrentes. Os resultados mostram as vantagens de controlar congestionamentos de acordo com sua origem. Além disso, o ICARUS minimiza os problemas de comunicação presentes nas soluções existentes para disseminação de alertas em VANETs [Bakhouya et al. 2011, Kim et al. 2008, Villas et al. 2014], assim, maximizando a cobertura sem introduzir um atraso indesejado para o sistema, e também sem sobrecarregar a rede.

3. Publicações

Como resultado da dissertação de mestrado, tivemos diversas publicações: dois artigos em periódicos internacionais, um artigo em periódico latino-americano e sete artigos em conferências internacionais de prestígio e grande impacto na área de redes e sistemas distribuídos. Além disso, um artigo foram publicados no SBRC, o principal evento nacional na área de redes de computadores e sistemas distribuídos.

Periódicos

- 2016: Elsevier Computer Networks (Qualis A1, fator de impacto 1.9)
- 2016: International Journal of Distributed Sensor Networks (Qualis B1, fator de impacto 0.906)
- 2015: IEEE Transaction on Latin América (Qualis B4, fator de impacto 0.436)

Conferências

- 2016: IEEE Vehicular Technology Conference (Qualis A1, H-index 98)
- 2016: IEEE Symposium on Computers and Communication (Qualis A2, H-index 43)
- 2016: Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos (Qualis B2, H-index 16)
- 2015: Dois artigos em International Conference on Computer and Information Technology (Qualis B1, H-index 22)
- 2015: IFIP International Conference on New Technologies, Mobility and Security (Qualis B4, H-index 10)
- 2014: IEEE International Symposium on Network Computing and Applications (Qualis B1, H-index 31)
- 2014: ACM International Workshop on Mobility Management and Wireless Access (Qualis B3, H-index 15)

São necessários comentários sobre a qualidade dos veículos das publicações dos resultados obtidos na dissertação de mestrado, segundo sistema Qualis. A Tabela 1 mostra a porcentagem para cada tipo de publicação, de acordo com a classificação do atual sistema Qualis da CAPES.

Nota-se que 100% dos artigos publicados em periódicos internacionais foram publicados em periódicos classificados no extrato superior da CAPES (A1 e B1), considerados de primeira linha. Quanto aos artigos publicados em anais de conferência internacional, 72% dos artigos publicados em anais de conferência internacional foram publicados

Tabela 1. Porcentagem da produção científica classificada de acordo com o sistema Qualis

	A1	A2	B1	B2	B3	B4	B5
Periódicos internacionais	50	-	50	-	-	-	-
Periódicos latino-americanos	-	-	-	-	-	100	-
Conferências internacionais	14,28	14,28	42,88	-	14,28	14,28	-
Conferências nacionais	-	-	-	100	-	-	-

em conferências classificadas no extrato superior da CAPES (A1, A2 e B1), consideradas de primeira linha. Em nível nacional, os artigos foram publicados no Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos (SBRC). Apesar de ser classificado como B2 no Qualis da CAPES, o SBRC é a principal conferência nacional da área de redes.

4. Conclusão

Este artigo resume as contribuições da dissertação de mestrado em [de Souza 2016]. O estado da arte em controle de congestionamento de veículos não consideram a origem dos congestionamentos, assim, controlando congestionamentos causados por eventos inesperados e congestionamentos recorrentes da mesma forma. Entretanto, identificar a origem dos congestionamentos contribui diretamente para maior efetividade em seu controle. Além disso, as soluções existentes não empregam soluções para tratar os problemas de comunicação inerentes as características das VANETs, consequentemente, essas soluções podem sobrecarregar a rede e introduzir um atraso indesejado. Por fim, embora existam soluções que tratam o problema de *broadcast storm* presente nas VANETs, nenhuma dessas soluções tratam a sincronização de transmissões introduzida pelo padrão IEEE 802.11p.

Para superar as limitações presentes no estado da arte, na dissertação, foram propostas soluções capazes de evitar a iminência de congestionamentos durante a ocorrência de incidentes inesperados, soluções para detectar, classificar e controlar congestionamentos recorrentes e um protocolo de disseminação de alertas ciente do problema de sincronização introduzido pelo padrão IEEE 802.11p utilizado nas VANETs. As soluções propostas avançam o estado da arte em detecção, classificação e controle de congestionamentos de veículos.

Referências

- [Bakhouya et al. 2011] Bakhouya, M., Gaber, J., and Lorenz, P. (2011). An adaptive approach for information dissemination in vehicular ad hoc networks. *J. Netw. Comput. Appl.*, 34(6):1971–1978.
- [Brennand et al. 2015] Brennand, C. A. R. L., de Souza, A. M., Maia, G., Boukerche, A., Ramos, H., Loureiro, A. A. F., and Villas, L. A. (2015). An intelligent transportation system for detection and control of congested roads in urban centers. In *2015 IEEE Symposium on Computers and Communication (ISCC)*, pages 663–668.
- [Cintra 2013] Cintra, M. (2013). A crise do trânsito em são paulo e seus custos. *GVExecutivo*, 12(2):58–61.

- [Cunha et al. 2016] Cunha, F., Villas, L., Boukerche, A., Maia, G., Viana, A., Mini, R. A., and Loureiro, A. A. (2016). Data communication in vanets: Protocols, applications and challenges. *Ad Hoc Networks*, 44:90 – 103.
- [de Souza 2016] de Souza, A. M. (2016). *Sistemas de Transporte Inteligente para Controle de Congestionamentos de Veículos*. Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP.
- [de Souza et al. 2017] de Souza, A. M., Brennand, C. A., Yokoyama, R. S., Donato, E. A., Madeira, E. R., and Villas, L. A. (2017). Traffic management systems: A classification, review, challenges, and future perspectives. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 13(4).
- [de Souza et al. 2016a] de Souza, A. M., Yokoyama, R., Boukerche, A., Maia, G., Cerqueira, E., Loureiro, A. A., and Villas, L. A. (2016a). Icarus: Improvement of traffic condition through an alerting and re-routing system. *Computer Networks*, 110:118 – 132.
- [de Souza et al. 2015] de Souza, A. M., Yokoyama, R. S., Botega, L. C., Meneguette, R. I., and Villas, L. A. (2015). Scorpion: A solution using cooperative rerouting to prevent congestion and improve traffic condition. In *2015 IEEE International Conference on Computer and Information Technology (CIT)*, pages 497–503.
- [de Souza et al. 2016b] de Souza, A. M., Yokoyama, R. S., Maia, G., Loureiro, A., and Villas, L. (2016b). Real-time path planning to prevent traffic jam through an intelligent transportation system. In *2016 IEEE Symposium on Computers and Communication (ISCC)*, pages 726–731.
- [Djahel et al. 2015] Djahel, S., Doolan, R., Muntean, G.-M., and Murphy, J. (2015). A Communications-Oriented Perspective on Traffic Management Systems for Smart Cities: Challenges and Innovative Approaches. *IEEE Communications Surveys Tutorials*, 17(1):125–151.
- [Doolan and Muntean 2016] Doolan, R. and Muntean, G. M. (2016). Ecotrec: A novel vanet-based approach to reducing vehicle emissions. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, PP(99):1–13.
- [Kim et al. 2008] Kim, T.-H., Hong, W.-K., Kim, H.-C., and Lee, Y.-D. (2008). Information networking. towards ubiquitous networking and services. chapter An Effective Data Dissemination in Vehicular Ad-Hoc Network, pages 295–304. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- [Pan et al. 2012] Pan, J., Khan, M., Sandu Popa, I., Zeitouni, K., and Borcea, C. (2012). Proactive vehicle re-routing strategies for congestion avoidance. In *Distributed Computing in Sensor Systems (DCOSS), 2012 IEEE 8th International Conference on*, pages 265–272.
- [Pan et al. 2016] Pan, J., Popa, I. S., and Borcea, C. (2016). Divert: A distributed vehicular traffic re-routing system for congestion avoidance. *IEEE Transactions on Mobile Computing*.
- [Villas et al. 2014] Villas, L. A., Boukerche, A., Maia, G., Pazzi, R. W., and Loureiro, A. A. (2014). Drive: An efficient and robust data dissemination protocol for highway and urban vehicular ad hoc networks. *Computer Networks*.

Measuring Inconsistency in Probabilistic Knowledge Bases

Glauber De Bona¹

¹Thesis approved at the Institute of Mathematics and Statistics – USP
Supervisor: Marcelo Finger, Institute of Mathematics and Statistics – USP

Abstract. *In AI, inconsistency measures have been proposed as a way to manage inconsistent knowledge bases. This work investigates inconsistency measuring in probabilistic logic. We show that previously existing rationality postulates for inconsistency measures in probabilistic knowledge bases are themselves incompatible and introduce a new way of localising inconsistency to reconcile these postulates. We then show the equivalence between distance-based inconsistency measures, from the AI community, and incoherence measures, from philosophy, that are based on the disadvantageous gambling behaviour entailed by incoherent probabilistic beliefs (via Dutch books). This provides a meaningful interpretation to the former and efficient methods to compute the latter.*

1. Motivation

Representing real-world knowledge and performing inference usually demand formalisms that can cope with uncertainty. Probabilistic logics combine the deductive power of logical systems with the well-founded Theory of Probability to attend to this need. Probabilities have been assigned to logical formulas for more than a century [Boole 1854, de Finetti 1930], and more recently probabilistic logics entered into the Artificial Intelligence (AI) community [Nilsson 1986, Hansen and Jaumard 2000, Halpern 2003].

Most approaches to probabilistic logic rely on the consistency of the set of premises in order to perform inference, which is a standard practice throughout logical reasoning. Nonetheless, many are the possible sources of inconsistency in a probabilistic knowledge base: it may contain statistical data from different samples, it could have been formed by the opinion of different experts, or even a single expert could lack the resources to check his own consistency while building the base, etc. To restore consistency in such cases, the inconsistency may be analysed, which calls for a way to measure it. This work mainly investigates measures of inconsistency for knowledge bases over probabilistic logic.

Example 1.1. Consider we are devising an expert system to assist medical diagnosis. Suppose a group of experts on a given disease D is required to quantify the relationship between D and its symptoms. Suppose three conditional probabilities (among others) are presented:

- the probability of a patient of disease D exhibiting both symptom S_1 and symptom S_2 is at least 60%;
- the probability of a patient of disease D exhibiting symptom S_1 but not symptom S_2 is at least 50%;
- the probability of a patient of disease D exhibiting symptom S_1 is at most 80%.

A knowledge engineer, while checking those facts, finds that they are inconsistent: according to the first two items, the probability of symptom S_1 , given disease D , should be at least 110%. He does not even know where each probability came from, but plans to adjust them, since consistency is a requirement. How should he proceed? Which probabilities is the degree of inconsistency most sensitive to? Once chosen which number to change, should it be raised or lowered in order to approximate consistency? These are the kind of questions an inconsistency measure can help to answer. \square

The problem of measuring inconsistency in probabilistic knowledge bases has recently been tackled via distance minimisation [Thimm 2013, Potyka 2014]. Thimm has adapted to probabilistic logic the rationality postulates for measuring inconsistency in classical propositional logic [Hunter and Konieczny 2008]. Informally, an inconsistency measure is a function taking knowledge bases (sets of formulas) to non-negative numbers. The first postulate is (*Consistency*), which claims that an inconsistency measurement is zero if, and only if, the corresponding base is consistent. Another desirable property suggested is (*Independence*), stating that the withdrawal of a free formula of the base — *i.e.*, a formula that does not belong to any minimal inconsistent set — should not change the inconsistency measurement. Thimm brought these postulates, among others, to the probabilistic context, adding (*Continuity*) to the list, which intuitively says that small changes in probabilities lead to small changes at the value of the inconsistency measure. We prove that (*Consistency*), (*Independence*) and (*Continuity*) cannot hold together, and some of these postulates must be abandoned or exchanged for jointly satisfiable ones. Since (*Independence*) is based on minimal inconsistent sets, a problem related to the postulates reconciliation is how to characterise “atomic” inconsistencies in probabilistic logic.

Example 1.2. Recall the situation in Example 1.1. Now, instead of adjusting these probabilities by himself, this knowledge engineer decides that the experts who elicit them should do the job. It happens that each of these probabilistic assessments has come from a different expert. The engineer then intends to schedule a meeting among the physicians responsible for the inconsistency in order for them to reassess their assignments in a consistent way. These experts are very busy, and their time, expensive, thus the knowledge engineer wants to invite for the meeting only the very physicians whose probabilistic assessments are collaborating, or causing, the inconsistency of the whole base. Who should the engineer call? Or, which pieces of information can be “blamed” for causing the inconsistency? It seems clear that the doctors responsible for the two first statements should be invited, but what about the third? These questions can be answered by *localising* the inconsistency in the base. \square

While computer scientists are investigating the problem of measuring inconsistency in probabilistic knowledge bases, statisticians and philosophers have been interested in evaluating the incoherence of formal agents that assign probability to events or propositions. In Bayesian epistemology, probabilities are usually construed as an agent’s degrees of belief, which can be operationally defined as the relative prices she would be willing to pay for gambles. Under these assumptions, the incoherence of an agent can be quantified via the sure loss she would be exposed to via a disadvantageous set of bets — a *Dutch book* [Schervish et al. 2002]. To the best of our knowledge, these proposals for measuring incoherence of Bayesian agents have been ignored within the AI community, even though they correspond to measures on probabilistic knowledge bases.

2. Objectives

The first main objective of this work is to reconcile the rationality postulates for measuring the inconsistency of probabilistic knowledge bases. To achieve this, the characterisation of problematic sets of formulas in a probabilistic knowledge base — those causing the inconsistency — must be analysed, since these sets are the basis of some incompatible desirable properties. That is, before fixing the postulates, we have to understand how to localise inconsistency in probabilistic logic.

As a second major aim, this work intends to link different approaches from different communities to very similar problems: on the one hand, distance-based methods to measure the inconsistency of probabilistic knowledge bases in Artificial Intelligence; on the other hand, sure losses via Dutch books to quantify the incoherence of agents in Bayesian statistics and formal epistemology.

3. Main Contributions

Identifying and fixing the incompatibility of the rationality postulates for inconsistency measures in probabilistic logic is the first major contribution of this work. We prove that the desirable properties are not jointly satisfiable and provide suitable for one them. A derived achievement of this work is the proposal of alternative forms of localising the inconsistency in probabilistic bases, which are employed to reconcile the postulates.

In the second main contribution of the thesis here summarised, we prove a formal equivalence between inconsistency measures via distance minimisation and incoherence measure via Dutch books. This provides the former with a meaningful interpretation, through the betting behaviour induced by the probabilities, and latter with efficient computation methods. Furthermore, our results open the path for the reciprocal interchange of ideas and techniques between the corresponding communities.

4. List of Publications

Part of this thesis' results, as well as related research done by the author, has been appearing in major international journals and conferences. The list of publications shows that this research has had impact in its surrounding areas, providing both a general framework for localising inconsistency in classical logic and a foundation for probabilistic consolidation on the AGM framework of belief revision, for instance. Also, the techniques developed were applied in more distant fields, like formal epistemology in philosophy and natural language processing. Additionally, the most recent papers are evidence of international collaboration: with Anthony Hunter, from the University College London, where the author has done post-doctoral research, and with Julia Staffel, German philosopher based at the Washington University in St. Louis.

De Bona, G. and Hunter, A. (2017). Localising iceberg inconsistencies. *Artificial Intelligence*. In press. Qualis-Capes: A1.

De Bona, G. and Staffer, J. (2017). Graded incoherence for accuracy-firsters. *Philosophy of Science*. In press. InCites-JCR ranking: #7 out of 44 in History and Philosophy of Science.

Finger, M. and De Bona, G. (2017). Algorithms for deciding counting quantifiers over unary predicates. In *AAAI*. In press. Qualis-Capes: A1.

De Bona, G., Finger, M., Ribeiro, M., Santos, Y., and Wassermann, R. (2016). Consolidating probabilistic knowledge bases via belief contraction. In *Proceedings, Fifteenth International Conference on the Principles of Knowledge Representation and Reasoning (KR 2016)*, pages 125–134. Qualis-Capes: A2.

De Bona, G. and Finger, M. (2015). Measuring inconsistency in probabilistic logic: rationality postulates and Dutch book interpretation. *Artificial Intelligence*, 227:140–164. Qualis-Capes: A1.

de Morais, E., De Bona, G., and Finger, M. (2015). Non-markovian logic-probabilistic modeling and inference. In *IJCAI-2015 Workshop on Weighted Logics for Artificial Intelligence (WL4AI-2015)*, pages 48–55.

Finger, M. and De Bona, G. (2015). Probabilistic satisfiability: algorithms with the presence and absence of a phase transition. *Annals of Mathematics and Artificial Intelligence*, pages 1–39. Qualis-Capes: B1.

De Bona, G., Cozman, F., and Finger, M. (2015). Generalized probabilistic satisfiability through integer programming. *Journal of the Brazilian Computer Society*, 21(1):1–14. Qualis-Capes: B2.

De Bona, G., Cozman, F., and Finger, M. (2014). Towards classifying propositional probabilistic logics. *Journal of Applied Logic*, 12(3):349–368. Qualis-Capes: B1.

De Bona, G., Cozman, F., and Finger, M. (2013). Generalized probabilistic satisfiability. In *Intelligent Systems (BRACIS), 2013 Brazilian Conference on*, pages 182–188. IEEE.

Finger, M. and De Bona, G. (2011). Probabilistic satisfiability: Logic-based algorithms and phase transition. In *IJCAI*, pages 528–533. Qualis-Capes: A1.

5. Relevant Results

A knowledge base (KB) is a set of (un)conditional (possibly imprecise) probabilities assigned to propositional formulas. In Examples 1.1 and 1.2 the KB encoding the three statements is $\Delta = \{P(S_1 \wedge S_2) \geq 0.6, P(S_1 \wedge \neg S_2) \geq 0.5, P(S_1) \leq 0.8\}$. An inconsistency measure is a function $\mathcal{I} : \mathbb{K} \rightarrow [0, \infty)$ intended to capture the inconsistency degree of a KB, where \mathbb{K} is the set of all KBs.

A direct approach to measure inconsistency in the unconditional case is via the distance between the probabilities in an KB and the closest consistent ones. For instance, to measure the inconsistency of Δ using some distance $d(\cdot, \cdot)$, we minimise $d(\langle 0.6, 0.5, 0.8 \rangle, \langle x, y, z \rangle)$ subject to $\{P(S_1 \wedge S_2) \geq x, P(S_1 \wedge \neg S_2) \geq y, P(S_1) \leq z\}$ being consistent. If d is the Manhattan/Absolute distance, the corresponding inconsistency measure, denoted by \mathcal{I}_1 , is such that $\mathcal{I}_1(\Delta) = |0.6 - 0.4| + |0.5 - 0.4| + |0.8 - 0.9| = 0.3$, since $\{P(S_1 \wedge S_2) \geq 0.5, P(S_1 \wedge \neg S_2) \geq 0.4, P(S_1) \leq 0.9\}$ is a closest consistent KB. Similarly, using Chebyshev distance, we have the inconsistency measure \mathcal{I}_∞ , which is such that $\mathcal{I}_\infty(\Delta) = \max\{|0.6 - 0.4|, |0.5 - 0.4|, |0.8 - 0.9|\} = 0.1$. These measures have

been generalized to the conditional case in a way that keeps computational practicability [Potyka 2014], and by \mathcal{I}_1 and \mathcal{I}_∞ we denote such generalisation. Any p -norm distance yields an inconsistency measure \mathcal{I}_p , but \mathcal{I}_1 and \mathcal{I}_∞ are the most efficiently computable ones, employing linear programming. These measures have been criticised for lacking a meaningful interpretation, being only geometrical.

The formulation of inconsistency measures has been guided by rationality postulates requiring basic, intuitive properties. Our first relevant result proves the incompatibility of three of these postulates, informally presented in the introduction¹:

Theorem 5.1. *(Consistency), (Independence) and (Continuity) are incompatible.*

To fix the postulates, we investigate (Independence), which is the least appealing to the intuition. This postulate is based in the concept of minimal inconsistent set (MIS). A $\Gamma \in \mathbb{K}$ is a MIS if it is inconsistent and every $\Gamma' \subset \Gamma$ is consistent. For instance, $\Theta = \{P(S_1 \wedge S_2) \geq 0.6, P(S_1 \wedge \neg S_2) \geq 0.5\}$ is the only MIS contained in Δ .

Recall the situation in Example 1.2. Suppose that only the two experts responsible for the probabilities in Θ are called to reconcile their assignments, via relaxing the probability bounds, yielding the consistent KB $\Theta' = \{P(S_1 \wedge S_2) \geq 0.5, P(S_1 \wedge \neg S_2) \geq 0.5\}$. Nevertheless, adding the third assignment we have $\Delta' = \{P(S_1 \wedge S_2) \geq 0.5, P(S_1 \wedge \neg S_2) \geq 0.5, P(S_1) \leq 0.8\}$, which is still inconsistent – indeed, Δ' is a MIS. Note that $P(S_1 \wedge S_2) \geq 0.5$ and $P(S_1 \wedge \neg S_2) \geq 0.5$ entail $P(S_1) \geq 1$, contradicting $P(S_1) \leq 0.8$.

Hence, MISs do not capture all the inconsistency in a KB. To circumvent that, we introduce the concept of inescapable conflict. Informally, a KB is an inescapable conflict when its probability bounds can be relaxed to form a MIS. Thus, Δ is an inescapable conflict, for Δ' is a MIS. We propose then a new version of (Independence), called (*i*-Independence), demanding that removing a probabilistic assignment from a KB should not decrease its inconsistency measurement if such assignment does not take part in any inescapable conflict in the KB. Our second relevant result follows:

Theorem 5.2. *(Consistency), (*i*-Independence) and (Continuity) are compatible.*

The next main result deals with inconsistency measures based on bet transactions². Imagine a situation where Alice thinks the probability of a given coin landing heads up is 60% and the probability of such coin landing tails up (not heads up) is also 60%. The KB $\Delta = \{P(H) = 0.6, P(\neg H) = 0.6\}$ captures Alice's epistemic state, which is clearly inconsistent. Now suppose there is two bet tickets: one that pays \$100 (the bet prize) if the coin lands heads up and the other pays \$100 if the coin lands tails up. Based on her probabilistic beliefs, Alice think it is fair to buy these bet tickets for \$60 each. Thus, she is willing to spend \$120 on these gambles, but will receive only \$100 back, no matter the coin outcome, losing \$20 for sure. This set of bet transactions with guaranteed loss is called a Dutch book.

It is a well-known result that an agent is vulnerable to a Dutch book iff she is incoherent; *i.e.*, if the KB corresponding to her epistemic state is inconsistent. Hence, a natural idea proposed in philosophy is to measure the degree of an agent's incoherence through the size of the maximum sure loss she is exposed to via a Dutch book. The intuition is that the more incoherent an agent is, the greater the guaranteed loss she is exposed

¹In this section, the technical results are only sketched, and their precise mathematical formulation can be found in the thesis here summarised.

²To explain this concept and the related measures, we focus on the unconditional case, for simplicity.

to via a Dutch book. Nevertheless, if bet prizes are not limited, the sure loss in a Dutch book can be arbitrarily scaled up. Hence, the maximum guaranteed loss is normalised by either the greatest bet prize or the sum the prizes, yielding the incoherence measures \mathcal{I}_{SSK}^{max} and \mathcal{I}_{SSK}^{sum} [Schervish et al. 2002], respectively. For instance, if Alice’s loss is divided by the maximum prize, we have $\mathcal{I}_{SSK}^{max} = 20/100 = 0.2$, whereas normalising by the prize’s sum, we have $\mathcal{I}_{SSK}^{sum} = 20/200 = 0.1$.

Although apparently unrelated at first, the most efficient distance-based measures and the incoherence measures based on Dutch-books are equivalent, giving a meaningful interpretation to the former and efficient computation methods to the latter:

Theorem 5.3. *For any knowledge base $\Gamma \in \mathbb{K}$, $\mathcal{I}_1(\Gamma) = \mathcal{I}_{SSK}^{max}(\Gamma)$ and $\mathcal{I}_\infty(\Gamma) = \mathcal{I}_{SSK}^{sum}(\Gamma)$.*

6. Concluding Remarks

In the thesis here summarised we studied different ways of measuring inconsistency in probabilistic knowledge bases. The incompatibility among (Consistency), (Independence) and (Continuity) was proved and fixed, with a new form of characterising conflicts being develop along the way. Furthermore, we showed how distance-based inconsistency measures correspond to Dutch-book-based incoherence measures, fostering cross-pollination between computer science and philosophy. The ongoing impact of this research is attested by the list of publications, with the framework here developed being generalised and applied to different areas.

References

- Boole, G. (1854). *An Investigation of the Laws of Thought: on which are Founded the Mathematical Theories of Logic and Probabilities*. Walton and Maberly.
- de Finetti, B. (1930). Problemi determinati e indeterminati nel calcolo delle probabilità. *Rendiconti Reale Accademia dei Lincei*, 6:367–373.
- Halpern, J. (2003). Reasoning about uncertainty.
- Hansen, P. and Jaumard, B. (2000). Probabilistic satisfiability. *Handbook of Defeasible Reasoning and Uncertainty Management Systems: Algorithms for uncertainty and defeasible reasoning*, page 321.
- Hunter, A. and Konieczny, S. (2008). Measuring inconsistency through minimal inconsistent sets. In *11th International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning (KR’08)*, pages 358–366.
- Nilsson, N. (1986). Probabilistic logic. *Artificial Intelligence*, 28(1):71–87.
- Potyka, N. (2014). Linear programs for measuring inconsistency in probabilistic logics. In *Fourteenth International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning (KR-14)*. AAAI.
- Schervish, M., Seidenfeld, T., and Kadane, J. (2002). Measuring incoherence. *Sankhyā: The Indian Journal of Statistics, Series A*, pages 561–587.
- Thimm, M. (2013). Inconsistency measures for probabilistic logics. *Artificial Intelligence*, 197:1–24.

Noise detection in classification problems

Luís P. F. Garcia^{1,2}, Ana C. Lorena³, André C. P. L. F. de Carvalho²

¹Department of Computer Science, University of Leipzig, Germany

²Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, Brasil

³Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal de São Paulo, Brasil

garcia@informatik.uni-leipzig.de, aclorena@unifesp.br, andre@icmc.usp.br

Abstract. *Large volumes of data have been produced in many application domains. Nonetheless, when data quality is low, the performance of Machine Learning techniques is harmed. Real data are frequently affected by the presence of noise, which, when used in the training of Machine Learning techniques for predictive tasks, can result in complex models, with high induction time and low predictive performance. Identification and removal of noise can improve data quality and, as a result, the induced model. This thesis proposes new techniques for noise detection and the development of a recommendation system based on meta-learning to recommend the most suitable filter for new tasks. Experiments using artificial and real datasets show the relevance of this research.*

1. Introduction

In real world applications, there are many inconsistencies that affect data quality. Data cleansing investigates and employs techniques able to automatically treat data quality problems. This work is concerned with noise detection, which can be treated by noise filter (NF) techniques [Frenay and Verleysen 2014].

In class labeled datasets, noise can be present in the predictive attributes and in the target attribute [Zhu and Wu 2004]. In the second case, noise changes the true class label of an example. This has been regarded as the most harmful noise type. Several studies show that the use of NFs can improve the classification performance and reduce the complexity of predictive models [Brodley and Friedl 1996]. However, like in the “No Free Lunch” Theorem [Wolpert 1992], no NF is superior to all others for all datasets. This thesis investigates the hypothesis that noise removal could be more efficient if the a more suitable NF is recommended for a new dataset.

Meta-Learning (MtL) has been successfully used to support the recommendation of the most suitable technique(s) for a new dataset [Brazdil et al. 2009]. In this Thesis, given a set of frequently used NFs and a set of data complexity measures [Ho and Basu 2002] able to characterize datasets, a MtL-based system was proposed and experimentally evaluated to recommend the most suitable NF for a new dataset, thus supporting the selection of the most suitable NFs and improving label noise identification.

The main contributions of this thesis are: (i) proposal of two NFs, one based on ensembles of classifiers and the other based on a subset of data complexity measures [Garcia et al. 2015a, Garcia et al. 2012]; (ii) use of complexity measures to understand how the presence of noise in a dataset affects data complexity [Garcia et al. 2013,

Garcia et al. 2015a]; (*iii*) use of decomposition strategies to increase NF performance by decreasing the complexity of multi-class classification tasks [Garcia et al. 2015b]; (*iv*) soft adaptation of NFs for outputting a “Noise Degree Prediction” (NDP) value and the proposal of a new evaluation measure for soft NFs [Garcia et al. 2016b, Lorena et al. 2015]; (*v*) use of MtL to predict the NF with the best predictive performance and lower computational cost for a new task [Garcia et al. 2016a, Garcia et al. 2016b] and (*vi*) validation of the MtL-based recommender system in a real dataset from the ecology domain, with the support of a domain expert [Garcia et al. 2016b].

The rest of this paper is organized as follows. Section 2 has the main motivations for this Thesis, with an overview of NFs and MtL in recommendation systems. Section 3 presents the datasets adopted, the methodology followed to evaluate the NFs and the results obtained in the MtL analysis. Section 4 describes a case study where experimental results using an ecology dataset are validated by a domain expert. Section 5 presents the main conclusions from this Thesis and Section 6 enumerates the resulting publications.

2. Noise Filter Recommendation by Meta-Learning

Different information can be used by NFs, like neighborhood or density information [Tomek 1976, Garcia et al. 2015a], descriptors extracted from the dataset [Sluban et al. 2014] and classifiers [Garcia et al. 2012, Sluban et al. 2010, Brodley and Friedl 1996] for the noise identification. Table 1 shows the NFs investigated in the Thesis, which include NFs frequently used and two NFs proposed in the Thesis, DEF and GNN. DEF employs an ensemble of NF classifiers, whose classifiers are selected according to the dataset used [Garcia et al. 2012]. GNN models a dataset as a graph and identify noise by extracting a set of measures from the graph [Garcia et al. 2015a].

Table 1. List of NFs with acronym and reference.

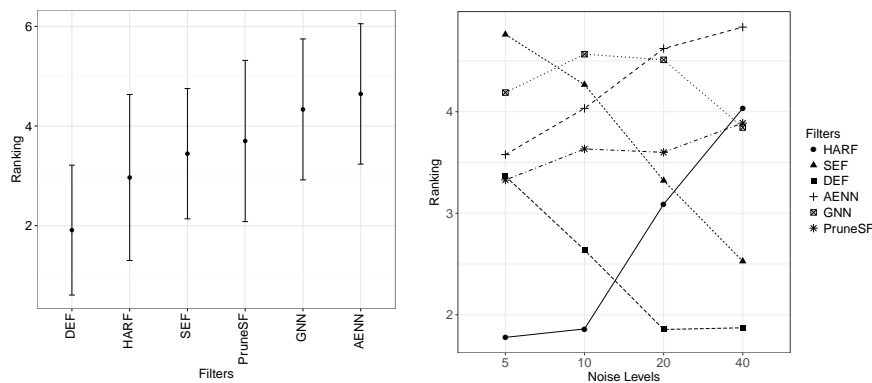
Filter	Acronym	Reference
All k -NN	AENN	[Tomek 1976]
Static Ensemble Filter	SEF	[Brodley and Friedl 1996]
High Agreement Random Forest Filter	HARF	[Sluban et al. 2010]
Dynamic Ensemble Filter	DEF	[Garcia et al. 2012]
Prune Saturation Filter	PruneSF	[Sluban et al. 2014]
Graph Nearest Neighbor	GNN	[Garcia et al. 2015a]

Since each NF has a bias, different NFs can present distinct noise identification performances in diverse datasets [Sluban et al. 2014]. This study investigates how MtL can be used to recommend the most suitable NF for new datasets [Brazdil et al. 2009]. The first step is the construction of a meta-dataset, where each meta-example is usually associated with a noisy version of a dataset, from which a set of characterization and complexity measures, named meta-features, are extracted. Each meta-example receives a label, which is the performance obtained by a set of NFs when applied to this dataset. Next, a ML technique is applied to the meta-dataset, as a conventional ML task, to induce a meta-model, which can be used as a recommendation system to select the most suitable NF for a new dataset. The use of complexity measures was motivated by experiments from this Thesis, when many of these measures captured the increasing complexity of a dataset in the presence of label noise [Garcia et al. 2015a]. Meta-regressors were built to predict the expected F_1 performance of various NFs, which were used to recommend NFs for new datasets.

3. Experimental

All techniques are evaluated in noisy versions of 90 benchmark datasets, created by using a random noise imputation method. For each dataset, random noise was added at rates of 5%, 10%, 20% and 40%. For each dataset and noise level, 10 different noisy versions were generated, resulting in 3600 datasets with class noise. The NFs were evaluated in noise identification using the F_β -score with $\beta = 1$. The Friedman statistical test [Demšar 2006] with 95% of confidence value compared their predictive performances.

Figure 1 shows the performance of the NFs. Figure 1(a) summarizes the F_1 predictive performance of all NFs. It shows the average ranking of each NF, regarding its predictive performance for all datasets, independently of the noise level introduced. Each value in the x -axis represents a NF. The y -axis shows the average and the standard deviation of the ranking of each NF. Figure 1(b) summarizes the ranking position of the NFs for all datasets for each noise level. The NF with the best predictive performance has the lowest average (and standard deviation) ranking values.



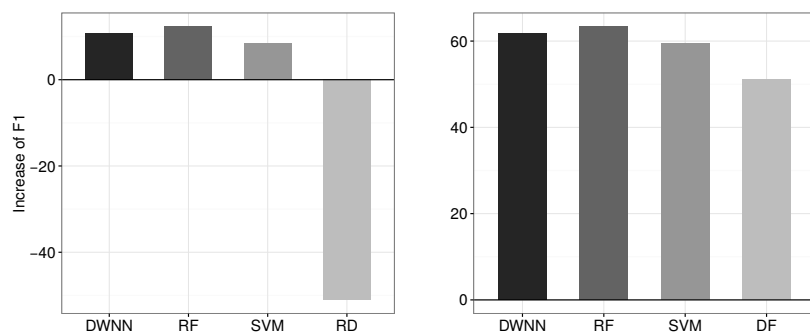
(a) Ranking of NFs according to F_1 performance. (b) Ranking of NFs according to F_1 performance per noise level.

Figure 1. Predictive performance of the NF techniques.

According to Figure 1(a), DEF was the best performing NF, followed by HARF and later SEF. PruneSF, GNN and AENN presented the worst performances. Considering the combined results of the F_1 performance shown in Figure 1(b) and of the statistical test performed, HARF was able to improve the F_1 values for low noise rates, while DEF was able to improve its performance for high noise rates. SEF was the worst NF for low noise rates, while AENN was the worst NF for high noise rates. GNN had the worst results for intermediate noise rates. Therefore, the choice of a NF depends on the expected noise level of a particular dataset. Overall, DEF should be preferred when a high noise level is expected, and HARF when the noise level is low. The dataset characteristics can also influence the results obtained, since each NF has a bias that can better fit specific cases. This motivated the use of MtL in the domain of label noise identification in the Thesis.

The performance of the MtL recommendation system is illustrated in Figure 2, which shows the increase of F_1 obtained by the NFs when the NF predicted as the best by the meta-regressors is used in noise detection (base-level) instead of the NF predicted by the baselines. The baselines are DF (default - Figure 2(a)) and RD (random - Figure 2(b)). The x -axis shows the meta-regressors and the y -axis the increase of F_1 when compared

with the corresponding baseline. Positive values indicate an increase of F_1 and negative values a decrease. In Figure 2(a), the increase in the base-level predictive performance obtained by using the meta-regressors DWNN (Distance Weight Nearest Neighbor), RF (Random Forest) and SVM (Support Vector Machine) were higher than using the DF baseline. RD had a high decrease of performance. All meta-regressors in Figure 2(b) increased their performance, including the DF baseline. The RF meta-regressor presented the best results in both cases.



(a) Difference of performance in the base-level when using DF as baseline. (b) Difference of performance in the base-level when using RD as baseline.

Figure 2. MtL performance.

4. Case Study: Ecology Data

To validate the proposed approaches, the performance of the NF recommended by the MtL-based system was compared with the baseline NFs when both were applied to a real dataset from ecological niche modeling domain. The comparison was validated by a domain expert and the baseline had the lowest performance. The dataset shows the presence or absence of a non native specie *Hedychium coronarium* in georeferenced regions from protected areas of the Brazilian state of São Paulo. Both classes can present label noise, with the presence or absence misclassification.

Using the previous NFs adapted to a soft version as described in Chapter 3 and the MtL described in Chapter 4 of the thesis, 59 examples were detected as noisy, 12 in the absence class and 47 in the presence class. Only two examples were misclassified by the NF in the presence class. This example has native vegetation in riparian zone, which is favorable to the invasion. In the absence class, five of the examples misclassified are examples where the location and the conservation status do not favor the appearance of *H. coronarium*.

Overall, the filtering step efficiently identified potentially noisy examples. For data modeling, these examples should be removed to avoid their negative effect on the induced model. From the domain expert point of view, these examples should be monitored, since they represent areas in process of degeneration.

5. Conclusion

This Thesis investigated NFs for data cleansing and the use of MtL for NF recommendation. For such, the authors developed new NFs, proposed and investigated alternatives to

use MtL for NF recommendation and evaluated the use of MtL in a real dataset, whose results were validated by a domain expert. The main limitation of this Thesis is to not take into account the intrinsic noise levels in the real datasets used in this work, since it is usually not possible to assert that an example really has a noisy label. The parameters used by the NFs were those adopted in the reference literature. Future work includes fine tuning the hyper-parameters of the NFs, proposal of NFs specific for particular datasets and study the noisy patterns present in datasets. The authors would also like to investigate the influence of intrinsic dataset noise level in the performance of NFs.

6. Publications from this Thesis

This thesis resulted in publications in journals and conferences and in the implementation of publicly available R packages. The source codes of part of the experiments are also available in the GitHub¹ platform. Some of these publications resulted from internships abroad, in collaborations with Francisco Herrera from University of Granada and with Stan Matwin from Dalhousie University. Next, the papers and packages produced are listed.

Journal papers

- Garcia, L., de Carvalho, A., & Lorena, A. (2015). “Effect of label noise in the complexity of classification problems”. *Neurocomputing*, 160:108 - 119. (JCR 2015 - 2.392)
- Garcia, L., Sáez, J., Luengo, J., Lorena, A., de Carvalho, A., & Herrera F. (2015). “Using the One-vs-One decomposition to improve the performance of class noise filters via an aggregation strategy in multi-class classification problems”. *Knowledge-Based Systems*, 90:153 - 164. (JCR 2015 - 3.325)
- Garcia, L., de Carvalho, A., & Lorena, A. (2016). “Noise detection in the meta-learning level”. *Neurocomputing*, 176:14 - 25. (JCR 2015 - 2.392)
- Garcia, L., Lorena, A., Matwin, S., & de Carvalho, A. (2016). “Ensembles of label noise filters: a ranking approach”. *Data Mining and Knowledge Discovery*, 30(5):1192 - 1216. (JCR 2015 - 2.714)
- Morales, P., Luengo, J., Garcia, L., Lorena, A., de Carvalho, A., & Herrera F. (2017). “The NoiseFiltersR Package: Label Noise Preprocessing in R”. *The R Journal*. *Accepted*. (JCR 2015 - 1.045)

Conference papers

- Garcia, L., Lorena, A., & de Carvalho, A. (2012). “A study on class noise detection and elimination”. In *Brazilian Symp. on Neural Networks (SBRN)*, 13 - 18.
- Garcia, L., de Carvalho, A., & Lorena, A. (2013). “Noisy data set identification”. In *Hybrid Artificial Intelligent Systems (HAIS)*, 629 - 638.
- Lorena, A., Garcia, L., & de Carvalho, A. (2015). “Adapting Noise Filters for Ranking”. In *Brazilian Conference on Intelligent Systems (BRACIS)*, 299 - 304.

R Packages in the CRAN Repository

- Morales, P., Luengo, J., Garcia, L., Lorena, A., de Carvalho, A., & Herrera F. (2016). “NoiseFiltersR: Label Noise Filters for Data Preprocessing in Classification”. R package version 0.1.0. <https://CRAN.R-project.org/package=NoiseFiltersR>.
- Rivolli, A., Garcia, L., & de Carvalho, A. (2017). “mfe: Meta-Feature Extractor”. R package version 0.1.0. <https://CRAN.R-project.org/package=mfe>.

¹<https://github.com/lpfgarcia>

References

- Brazdil, P., Giraud-Carrier, C., Soares, C., and Vilalta, R. (2009). *Metalearning - Applications to Data Mining*. Cognitive Technologies. Springer, 1 edition.
- Brodley, C. and Friedl, M. (1996). Identifying and eliminating mislabeled training instances. In *13th National Conference on Artificial Intelligence (AAAI)*, pages 799–805.
- Demšar, J. (2006). Statistical comparisons of classifiers over multiple data sets. *Journal of Machine Learning Research*, 7:1–30.
- Frenay, B. and Verleysen, M. (2014). Classification in the presence of label noise: a survey. *IEEE Trans. on Neural Networks and Learning Systems*, 25(5):845–869.
- Garcia, L., de Carvalho, A., and Lorena, A. (2013). Noisy data set identification. In *Hybrid Artificial Intelligent Systems (HAIS)*, volume 8073, pages 629–638.
- Garcia, L., de Carvalho, A., and Lorena, A. (2015a). Effect of label noise in the complexity of classification problems. *Neurocomputing*, 160:108–119.
- Garcia, L., de Carvalho, A., and Lorena, A. (2016a). Noise detection in the meta-learning level. *Neurocomputing*, 176:14–25.
- Garcia, L., Lorena, A., and de Carvalho, A. (2012). A study on class noise detection and elimination. In *Brazilian Symposium on Neural Networks (SBRN)*, pages 13–18.
- Garcia, L., Lorena, A., and de Carvalho, A. (2016b). Ensembles of label noise filters: a ranking approach. *Data Mining and Knowledge Discovery*, 30(5):1192 – 1216.
- Garcia, L., Sáez, J., Luengo, J., Lorena, A., de Carvalho, A., and Herrera, F. (2015b). Using the one-vs-one decomposition to improve the performance of class noise filters via an aggregation strategy in multi-class classification problems. *Knowledge-Based Systems*, 90:153–164.
- Ho, T. and Basu, M. (2002). Complexity measures of supervised classification problems. *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 24(3):289–300.
- Lorena, A., Garcia, L., and de Carvalho, A. (2015). Adapting noise filters for ranking. In *Brazilian Conference on Intelligent Systems (BRACIS)*, pages 299–304.
- Sluban, B., Gamberger, D., and Lavrač, N. (2010). Advances in class noise detection. In *19th European Conference on Artificial Intelligence (ECAI)*, pages 1105–1106.
- Sluban, B., Gamberger, D., and Lavrač, N. (2014). Ensemble-based noise detection: noise ranking and visual performance evaluation. *Data Mining and Knowledge Discovery*, 28(2):265–303.
- Tomek, I. (1976). An experiment with the edited nearest-neighbor rule. *IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics*, 6(6):448–452.
- Wolpert, D. (1992). Stacked generalization. *Neural Networks*, 5(2):241–259.
- Zhu, X. and Wu, X. (2004). Class noise vs. attribute noise: A quantitative study. *Artificial Intelligence Review*, 22(3):177–210.

Lyra2: Password Hashing Scheme with improved security against time-memory trade-offs*

Ewerton R. Andrade^{1,2}, Marcos A. Simplicio Junior¹

¹ Laboratório de Arquitetura e Redes de Computadores (LARC)
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Poli-USP) – São Paulo – Brasil.

²Instituto Federal de Rondônia (IFRO) – Rondônia – Brasil.

{eandrade,mjunior}@larc.usp.br

Abstract. *To protect against brute force attacks, modern password-based authentication systems usually employ mechanisms known as Password Hashing Schemes (PHS). Basically, a PHS is a cryptographic algorithm that generates a sequence of pseudorandom bits from a user-defined password, allowing the user to configure the computational costs involved in the process aiming to raise the costs of attackers testing multiple passwords trying to guess the correct one. In this context, the goal of this research effort is to propose a novel and superior PHS alternative. Specifically, the objective is to improve the Lyra algorithm, a PHS built upon cryptographic sponges whose project counted with the authors' participation. The resulting solution, called Lyra2, preserves the efficiency and flexibility of Lyra, and it brings important improvements when compared to its predecessor: (1) it allows a higher security level against attack venues involving time-memory trade-offs; (2) it includes tweaks for increasing the costs involved in the construction of dedicated hardware to attack; (3) it balances resistance against side-channel threats and attacks relying on cheaper (and, hence, slower) storage devices. Besides describing the algorithm's design rationale in detail, the thesis also includes a detailed analysis of its security and performance.*

1. Introduction

User authentication is one of the most vital elements in modern computer security. Even though there are authentication mechanisms based on biometric devices (“what the user is”) or physical devices such as smart cards (“what the user has”), the most widespread strategy still is to rely on secret passwords (“what the user knows”). This happens because password-based authentication remains as the most cost effective and efficient method of maintaining a shared secret between a user and a computer system (Chakrabarti and Singbal 2007).

Password-based systems usually employ some cryptographic algorithm that allows the generation of a pseudorandom string of bits from the password itself, known as a Password Hashing Scheme (PHS), or Key Derivation Function (KDF) (NIST 2009). Typically, the output of the PHS is employed in one of two manners (Percival 2009): it can be locally stored in the form of a “token” for future verifications of the password or used as the secret key for encrypting and/or authenticating data. Whichever the case, such solutions employ internally a one-way (e.g., hash) function, so that recovering the password from the PHS's output is computationally infeasible (Percival 2009; Kaliski 2000).

* Full thesis and implementations available at <http://lyra2.net/>.

Despite the popularity of password-based authentication, the fact that most users choose quite short passwords leads to a serious issue: they commonly have much less entropy than typically required by cryptographic keys (NIST 2011). Such weak passwords greatly facilitate many kinds of “brute-force” attacks, such as dictionary attacks and exhaustive search (Chakrabarti and Singbal 2007), allowing attackers to completely bypass the non-invertibility property of the password hashing process. The feasibility of such attacks depends basically on the amount of resources available to the attacker, who can speed up the process by performing many tests in parallel.

2. Motivation

A straightforward approach for addressing this problem is to force users to choose complex passwords. This is unadvised, however, because such passwords would be harder to memorize and, thus, more easily forgotten due to the users’ need of writing them down, defeating the whole purpose of authentication (Chakrabarti and Singbal 2007). For this reason, modern password hashing solutions usually employ mechanisms for increasing the *cost* of brute force attacks. Schemes such as PBKDF (Kaliski 2000) and bcrypt (Provos and Mazières 1999), for example, include a configurable parameter that controls the number of iterations performed, allowing the user to adjust the time required by the password hashing process.

A more recent proposal, *scrypt* (Percival 2009), allows users to control both processing time and memory usage, raising the cost of password recovery by increasing the silicon space required for running the PHS in custom hardware, or the amount of RAM required in a Graphics Processing Unit (GPU). Since this may raise the RAM costs of password cracking to unbearable levels, attackers may try to trade memory for processing time, discarding (parts of) the memory used and recomputing the discarded information when it becomes necessary (Percival 2009). The exploitation of such time-memory trade-offs (TMTO) leads to the hereby-called *low-memory attacks*. Another approach that might be used by attackers trying to reduce the costs of password cracking is to use low-cost (and, thus, slower) storage devices for keeping all memory used in the legitimate process, using the spare budget to run more tests in parallel and, thus, compensating the lower speed of each test; we call this approach a *slow-memory attack*. Besides the need for protection against low- and slow-memory attacks, there is also interest in the development of solutions that are safe against side-channel attacks, in especial the so-called *cache-timing attacks*. Basically, a cache-timing attack is possible if the attacker can observe a machine’s timing behavior by monitoring its access to cache memory (e.g., the occurrence of cache-misses), building a profile of such occurrences for a legitimate password hashing process (Forler et al. 2013). Then, at least in theory, if the password being tested does not match the observed cache-timing behavior, the test could be aborted earlier, saving resources.

The considerable interest by the research community in developing new (and better) password hashing alternatives has recently even led to the creation of a cryptographic competition with this specific purpose, the Password Hashing Competition (PHC 2013).

3. Goals and Original Contributions

Aiming to address this need for stronger alternatives, our early studies led to the proposal of Lyra (Almeida et al. 2014). In this research, we propose an improved version of

Lyra, called simply Lyra2. Basically, Lyra2 preserves the flexibility and efficiency of Lyra, including: (1) the ability to configure the desired amount of memory and processing time to be used by the algorithm; (2) the capacity of providing a higher memory usage than what is obtained with scrypt for a similar processing time. In addition, it brings important security improvements when compared to its predecessor: (1) it allows a higher security level against attack venues involving time-memory trade-offs (TMTO); (2) it includes tweaks to increase the costs involved in the construction of dedicated hardware for attacking the algorithm (e.g., FPGAs or ASICs); (3) it balances resistance against side-channel threats and attacks relying on cheaper (and, hence, slower) storage devices.

4. Brief overview of the state-of-the-art

Arguably, the main password hashing solutions currently in use are (PHC 2013): PBKDF2 (Kaliski 2000), bcrypt (Provos and Mazières 1999) and scrypt (Percival 2009). Nevertheless, until recently scrypt was the only solution available in the literature exploring both memory and processing costs. This scenario changed with Lyra (Almeida et al. 2014), which also introduced improvements such as: the decoupling of the memory and processing parameters, giving further flexibility to users; the usage of a single underlying function (a cryptographic sponge) rather than the two employed in scrypt; higher resistance against attacks exploiting time-memory trade-offs; and higher performance, allowing for a higher memory usage with a similar processing time.

Over the last years, some candidates submitted to the Password Hashing Competition (namely, Argon2, Catena, and yescrypt, besides Lyra2 itself, to cite only algorithms deemed as recommended) also allow memory and processing time to be configured, and some of them (especially Catena, Argon2 and Lyra2) try to provide a thorough security analysis. Due to space limitations, we do not analyze each solution in this document, limiting the discussion to the comparative performance and security assessment in Sections 5.1 and 5.2. Nevertheless, we refer the interested reader to (Almeida et al. 2014) for a discussion on scrypt and improvements proposed in Lyra (and inherited by Lyra2), the PHC official website (PHC 2013) for details on each submission, and also to our thesis.

5. Lyra2

As any PHS, Lyra2 takes as input a salt and a password to create a pseudorandom output. Internally, its memory is organized as a two-dimensional array whose cells are iteratively read and written, called simply the *memory matrix*. Hence, discarding a cell for saving memory leads to the need of recomputing it, until the point it was last modified, whenever it is accessed again. The matrix's initialization and visitation uses a stateful combination of the underlying sponge's absorbing, squeezing and duplexing operations, and was designed specifically to avoid password cracking using common attack platforms such as GPUs and dedicated hardware. Also, users can define the matrix's size and the number of times its cells are revisited after initialization, allowing Lyra2's resource usage to be fine-tuned. Due to space limitations, here we limit the discussion of Lyra2's design to this brief overview, whereas the detailed design, some possible variants, as well as an extended security and performance analysis can be found at Lyra2's reference guide and PhD thesis — available at www.lyra2.net —, and published papers (Andrade et al. 2016).

Table 1. Security overview of the PHSs considered the state of art. In the TMTO analysis, the time parameter is denoted by T and the memory is denoted by R .

Algorithm	Time-Memory trade-offs (TMTO)	Slow Memory	Side Channel	Hardware and GPUs	Garbage Collector
Argon2i	for $R' \approx 2^{15.5} \cdot T \cdot R$ $R/6$	—	✓	✓	✓
Argon2d	for $R' \approx 2^{19.6} \cdot T \cdot R$ $R/6$	✓	✗	✓	✓
battcrypt	—	✓	✗	✓	✓
Catena	$O 1$ ΘR^{T+1}	—	✓	✓	✓
Lyra2 [ours]	for $R' \approx R/2^{n+2}$, where $n \geq 0$ $O 2^{2nT} R^{2+n}$, for $n \gg 1$	✓	!	✓	✓
POMELO	—	✓	!	✓	✓
yescrypt	$O 1$ $O R^{T+1}$	✓	✗	✓	✓ ¹
scrypt	$O 1$ $O R^2$	✓	✗	!	✗

✓ - Has protection; ✗ - Has no protection; ! - Partial protection; — - Nothing declared.

5.1. Security

Table 1 summarizes the Lyra2’s security analysis, providing a comparison with other Password Hashing Schemes that are considered part of the state of the art. We note that, among the results appearing in this table, only the data related to Lyra2 were actually analyzed and presented in our thesis, while the rest of the data shown were collected on the reference guides, manuals and articles describing and/or analyzing the other solutions, including also third-party analysis. As can be seen in this table, Lyra2 is the only solution that provides at least partial protection against all known attacks.

5.2. Benchmarks

In our assessment of Lyra2’s performance, we used an SSE-enabled implementation of Blake2b’s (Aumasson et al. 2013) and BlaMka’s (Andrade 2016, Sec. 4.4.1) compression function as the underlying sponge’s f function of Lyra2’s Algorithm. The actual implementations, as well as test vectors, are available at www.lyra2.net. Figure 1 shows the results for Lyra2 using Blake2b’s as compression function, with $C = 256$, $\rho = 1$, and different T and R settings. As depicted, Lyra2 is able to execute in less than 1 s when using up to 1 GB of memory. The testbed employed is an Intel Xeon E5-2430 (2.20 GHz, $W = 64$ bits) equipped with 48 GB of DRAM, running Ubuntu 14.04 LTS 64 bits. The source code was compiled using gcc and g++ 4.9.2.

The same Figure 1 also compares Lyra2 with scrypt’s SSE-enabled implementation available at www.tarsnap.com/scrypt.html, using the parameters suggested by scrypt’s author in (Percival 2009). We also performed tests aiming to compare the performance of Lyra2 and the other 5 memory-hard PHC finalists: Argon2, battcrypt, Catena, POMELO, and yescrypt. The results, which basically confirm existing analysis done in (Broz 2014) and show that Lyra2 is a very competitive solution in terms of performance, are depicted in Figure 1.

¹Provides protection when in its “read-write” mode (YESCRYPT_RW) (Forler et al. 2014).

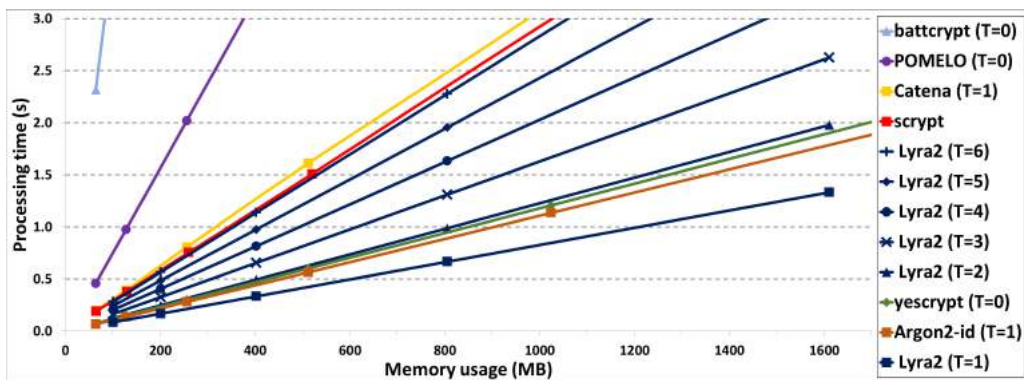


Figure 1. Performance of Lyra2, for $C = 256$, $\rho = 1$, $p = 1$, and different T and R settings, compared with scrypt and memory-hard PHC finalists with minimum parameters.

6. Final Considerations

In this document, we presented the main aspects of Lyra2, a password hashing scheme that allows legitimate users to fine tune memory and processing costs according to the desired level of security and resources available in the target user platform. In summary, the combination of a strictly sequential design for thwarting attacks with parallel platforms (e.g. GPUs or ASICs), the high costs of exploring time-memory trade-offs, and the ability to raise the memory usage beyond what is attainable with similar-purpose solutions for a similar security level and processing time make Lyra2 an appealing PHS solution.

6.1. Publications and other results

The following adoptions, publications, presentations, submissions and envisioned papers are a direct or indirect result of the research effort carried out during this thesis:

- *PHC special recognition*: Lyra2 received a special recognition for its elegant sponge-based design, and alternative approach to side-channel resistance combined with resistance to slow-memory attacks (PHC 2013).
- *BlaMka's adoption*: the winner of the PHC, Argon2, adopts BlaMka by default as its permutation function (Biryukov et al. 2016).
- *Lyra2's adoptions*: the Vertcoin electronic currency announced that it is migrating from scrypt to Lyra2 (a432511 2014). Furthermore, one of the major bitcoin mining software on GPU, the Sgminer, added support to Lyra2 in its distribution package (Crypto Mining 2015). Recently, ZCoin adopted Lyra2 due its resistance against ASIC mining algorithms (ZCoin 2016).
- *Journal Articles*: in (Almeida et al. 2014), we present the Lyra algorithm, describing the preliminary ideas that gave rise to Lyra2; in (Andrade et al. 2016), we describe Lyra2 and provide a brief security and performance analysis.
- *Extended abstract*: in (Andrade and Simplicio Jr 2014b), we present the initial ideas and results of Lyra2; in (Andrade and Simplicio Jr 2014a), we gave an oral presentation at LatinCrypt'14 with some preliminary results; and in (ICISSP 2016; SBSeg16 2016) we present the current status of our project.
- *Award*: recently, we received a best PhD project award (ICISSP 2016), best PhD thesis award (SBSeg16 2016).

Acknowledgements

This work was supported by CNPq (305350/2013-7 and 473916/2013-4), FAPESP (2015/50520-6 and 2013/25977-9), CAPES (79414400249), ErasmusMundus, and FDTE.

References

- a432511 (2014). PoW Algorithm Upgrade: Lyra2 – Vertcoin. <https://vertcoin.org/>.
- Almeida, L., Andrade, E., Barreto, P., and Simplicio, M. (2014). Lyra: Password-based key derivation with tunable memory and processing costs. *JCE*, 4(2):75–89.
- Andrade, E. R. (2016). *Lyra2: Password Hashing Scheme with improved security against time-memory trade-offs*. PhD thesis, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Poli-USP), São Paulo. Available from: <http://lyra2.net/>.
- Andrade, E. R. and Simplicio Jr, M. A. (2014a). Lyra2: a password hashing schemes with tunable memory and processing costs. LATINCRYPT’14. Brazil.
- Andrade, E. R. and Simplicio Jr, M. A. (2014b). Lyra2: Um Esquema de Hash de Senhas com custos de memória e processamento ajustáveis. 53–55, October, III WPG-EC. São Paulo, SP, Brazil. <http://www2.pcs.usp.br/wpgec/2014/index.htm>.
- Andrade, E. R., Simplicio Jr, M. A., Barreto, P. S. L. M., and Santos, P. C. F. d. (2016). Lyra2: efficient password hashing with high security against time-memory trade-offs. *IEEE Transactions on Computers*, PP(99).
- Aumasson, J.-P., Neves, S., Wilcox-O’Hearn, Z., and Winnerlein, C. (2013). BLAKE2: simpler, smaller, fast as MD5. <https://blake2.net/>.
- Biryukov, A., Dinu, D., and Khovratovich, D. (2016). *Argon2: the memory-hard function for password hashing and other applications*. PHC, v1.3 of Argon2 edition.
- Broz, M. (2014). Another PHC candidates “mechanical” tests – pub archives of PHC list.
- Chakrabarti, S. and Singbal, M. (2007). Password-based authentication: Preventing dictionary attacks. *Computer*, 40(6):68–74.
- Crypto Mining (2015). Updated Windows Binary of sgminer 5.1.1 With Fixed Lyra2Re Support – Crypto Mining Blog. <http://cryptomining-blog.com/>.
- Forler, C., List, E., Lucks, S., and Wenzel, J. (2014). Overview of the Candidates for the Password Hashing Competition - And Their Resistance Against Garbage-Collector Attacks. Cryptology ePrint Archive. <http://eprint.iacr.org/2014/881>.
- Forler, C., Lucks, S., and Wenzel, J. (2013). Catena: A memory-consuming password scrambler. Cryptology ePrint Archive. eprint.iacr.org/2013/525.
- ICISSP (2016). Previous awards. International Conference on Information Systems Security and Privacy – website. <http://www.icissp.org/PreviousAwards.aspx>.
- Kaliski, B. (2000). *PKCS#5: Password-Based Cryptography Specif. v2.0 (RFC 2898)*.
- NIST (2009). *Special Publication 800-18 – Recommendation for Key Derivation Using Pseudorandom Functions*. NIST, USA.
- NIST (2011). *Special Publication 800-63-1 – Electronic Authentication Guideline*. NIST.
- Percival, C. (2009). Stronger key derivation via sequential memory-hard functions. In *BSD Conference*.
- PHC (2013). Password Hashing Competition. <https://password-hashing.net/>.
- Provos, N. and Mazières, D. (1999). A future-adaptable password scheme. In *USENIX’99*.
- SBSeg16 (2016). Trabalhos premiados. XVI SBSeg. <http://sbseg2016.ic.uff.br/pt/trabalhos-premiados.php>.
- ZCoin (2016). Lyra2 Mining switch: Update your wallet. <http://blog.zcoin.tech/lyra2-mining-update/>.

Um Estudo Exploratório Sobre Padrões de Falhas de Sistemas Operacionais

Caio Augusto R. dos Santos, Rivalino Matias Jr. (orientador)

Faculdade de Computação – Universidade Federal de Uberlândia (UFU)
Uberlândia – MG – Brazil

{caioarsantos, rivalino}@ufu.br

Abstract. *Given the intrinsic dependency of user programs on the operating system (OS) software, OS failures can severely impact even the most reliable applications. This research carried out an exploratory study on OS failure patterns, based on 7,007 real failure records collected from different computers running a mass-market operating system. We introduced an OS failure pattern detection protocol, which allowed us to detect and characterize failure patterns that showed consistent across different computers from the same and varied workplaces investigated.*

Resumo. *Devido à dependência intrínseca de programas de usuário em relação ao sistema operacional (SO), falhas no sistema operacional podem afetar, severamente, até mesmo as aplicações mais confiáveis. Esta pesquisa realizou um estudo exploratório sobre padrões de falha de SO, com base em 7.007 registros de falha reais coletados de diferentes computadores executando um sistema operacional de mercado. Foi desenvolvido um protocolo de detecção de padrões que permitiu detectar e caracterizar padrões de falha de SO que se mostraram consistentes em diferentes computadores dos mesmos e de variados ambientes de trabalho investigados.*

1. Problema de Pesquisa e Motivação

Devido ao aumento da dependência dos seres humanos por sistemas computacionais, uma falha em suas operações pode acarretar desde simples inconvenientes até grandes desastres. Atualmente, a preocupação com a confiança no funcionamento de sistemas computacionais não é exclusiva de sistemas críticos e altamente especializados, mas também ocorre com sistemas de propósito geral. Por exemplo, o sistema de navegação utilizado pela marinha norte-americana executa sob um sistema operacional convencional, o Microsoft Windows [Li *et al.* 2008]. Esse cenário tem se tornado cada vez mais frequente, no qual sistemas computacionais especializados, com requisitos de alta confiabilidade, utilizam partes de *software* de propósito geral, em especial sistemas operacionais. Nesses casos, de nada adianta ter aplicações que, garantidamente, possuem alta confiabilidade, se estas executam sob um sistema operacional que não oferece níveis compatíveis de confiança em seu funcionamento.

Nesse sentido, este trabalho teve por objetivo contribuir para uma melhor compreensão sobre o comportamento de falhas que ocorrem no sistema operacional, investigando a existência de padrões em suas ocorrências. Também, examinou-se a existência de dependência entre essas ocorrências, uma importante propriedade no

contexto da modelagem e avaliação quantitativa da confiabilidade de *software*. De acordo com [Goseva-Popstojanova e Trivedi 2000], uma das principais suposições adotadas pela maioria dos modelos de confiabilidade de *software* é a de que falhas são eventos independentes. Ainda de acordo com os autores, essa suposição de independência é, muitas vezes, realizada para adequar tais modelos para formas matematicamente tratáveis e, desse modo, simplificar a computação dos parâmetros dos modelos. Contudo, tais suposições podem não representar a real forma de ocorrência das falhas analisadas, prejudicando sobremaneira a avaliação da confiabilidade do *software*.

Em primeiro lugar, buscou-se responder à seguinte pergunta de pesquisa: **Falhas de sistema operacional seguem padrões?** Foram encontradas fortes evidências da existência de padrões nas amostras de falha analisadas, de modo que a pesquisa avançou abordando demais questões de interesse, tais como: “Quais componentes do SO mais contribuíram para a composição desses padrões?” “Quais falhas foram recorrentes nos padrões identificados?” “Quais tipos de correlação entre falhas estão presentes nos padrões identificados?” As causas de falha do SO também foram consideradas nesse trabalho, o que possibilitou responder outra importante pergunta de pesquisa: **As causas de falha do SO também seguem padrões?** Encontramos fortes evidências que indicam padrões consistentes também entre as causas de falha do SO, nos permitindo avançar buscando respostas para outros questionamentos correlatos.

Até onde sabemos, este foi o primeiro estudo a propor um protocolo para detectar padrões de falha em sistemas operacionais. A identificação de padrões em falhas de SO é importante, tendo repercussão em diferentes áreas: *i*) a *dependabilidade* do sistema computacional como um todo pode ser melhorada, pois o conhecimento dos padrões de falha e suas correlações permite a criação de mecanismos de prevenção de falha mais eficazes; *ii*) o processo de *teste de software* se beneficia na medida em que pode concentrar esforços nas causas de falha que, individualmente ou combinadas, acarretam maior impacto na confiabilidade do sistema; *iii*) a *modelagem de sistemas* pode oferecer resultados mais realísticos, levando-se em conta as possíveis interações entre falhas e causas de falha que são reveladas nos padrões de falha detectados.

2. Materiais e Métodos

Dado que essa pesquisa focou na detecção de padrões de falha de SO, as amostras de falha analisadas foram obtidas de sistemas computacionais reais. O Microsoft Windows 7 (Win7) foi escolhido para este trabalho, visto que é atualmente o sistema operacional mais utilizado (ex. [NetMarketShare 2017]), além de fornecer registros detalhados de falhas por meio do *Reliability Analysis Component* (RAC) [Microsoft 2007]. A amostra de trabalho foi composta de 7.007 registros de falha de SO obtidos de 566 computadores executando o Win7. Esses registros foram obtidos de quatro ambientes de trabalho com diferentes perfis de utilização (G1, G2, G3 e G4). Os dados de falha dos grupos G1 e G2 foram provenientes de computadores de uma mesma universidade. G1 contém falhas de computadores de laboratórios de ensino de cursos de graduação e G2 reúne registros de falha coletados de computadores do departamento administrativo da universidade. G3 possui registros de falha obtidos de computadores de um ambiente corporativo. G4 é o único grupo heterogêneo, ou seja, contém registros de falha de SO de diferentes ambientes de trabalho (corporativo, acadêmico, doméstico). Maiores detalhes sobre esses grupos podem ser obtidos em [Dos Santos e Matias 2016b] (ver pág. 20-21).

Diversos trabalhos (ex. [Swift *et al.* 2003]) que investigaram a confiabilidade de SO analisaram apenas falhas que ocorreram no núcleo (*kernel*) do SO. Em [Matias *et al.* 2013] discutiu-se a importância de se considerar não apenas falhas no espaço do *kernel*, mas também falhas de SO que ocorrem no espaço do usuário, dado que SOs modernos possuem partes executando em ambos os níveis; portanto, trabalhos que limitam suas análises em apenas um nível não avaliam a real confiabilidade do SO. Por isso, este estudo considerou falhas de SO que ocorreram tanto no espaço do *kernel* quanto no espaço do usuário. Utilizando a abordagem de classificação de falhas de SO proposta em [Matias *et al.* 2013], as falhas da amostra de trabalho foram organizadas em três categorias: Aplicação de SO (SO_{APP}), Serviço de SO (SO_{SVC}) e *Kernel* (SO_{KNL}). As duas primeiras contêm registros de falha de programas do SO que executam no espaço do usuário, enquanto a terceira contém falhas de subsistemas do SO que executam no espaço do *kernel*. Todas as falhas foram agrupadas em 113 tipos de acordo com o campo *ProductName* dos respectivos registros do RAC.

A categoria SO_{SVC} apresentou a maior quantidade de eventos de falha (4.248 falhas). Com o propósito de compreender o motivo dessa prevalência, os registros de falha dessa categoria foram examinados individualmente e observou-se que 23 dos seus 55 tipos de falha estão relacionados com o serviço *Windows Update* (SWU). A quantidade de eventos de falha dos 23 tipos correspondeu a 87,97% (3.737 falhas) do número total de falhas (4.248 falhas) da categoria SO_{SVC}. Portanto, essas falhas representam 53,33% de todas as falhas de SO da amostra de trabalho. Cada um dos 23 tipos de falha do SWU diz respeito a um tipo de atualização de *software* que falhou enquanto aplicada a um dado componente de *software*. Por exemplo, o tipo de falha do SWU identificado como AW7 (atualização do Windows 7) representa atualizações de *software* aplicadas aos arquivos do sistema operacional Win7. Note que essa falha é registrada quando o serviço de atualização (SWU) falha ao tentar atualizar arquivos (ex. bibliotecas) do SO. O mesmo foi observado para atualizações de diferentes tipos de *software*. Também, foi possível examinar as causas dessas falhas por meio dos *Error Codes* presentes no campo *Message* dos registros do RAC. *Error Code* é um valor hexadecimal associado com um evento de falha, sendo usado para identificar a causa de uma falha no Win7. A interpretação dos *Error Codes* foi realizada por meio da documentação oficial do fabricante do SO investigado. A Figura 1 apresenta uma visão geral da estratificação da amostra de trabalho. Primeiramente, as falhas foram divididas em categorias, depois em tipos, e para o tipo serviço *Windows Update* (SWU) foram criados subtipos e, por fim, as causas das falhas foram identificadas por meio dos respectivos *Error Codes*.

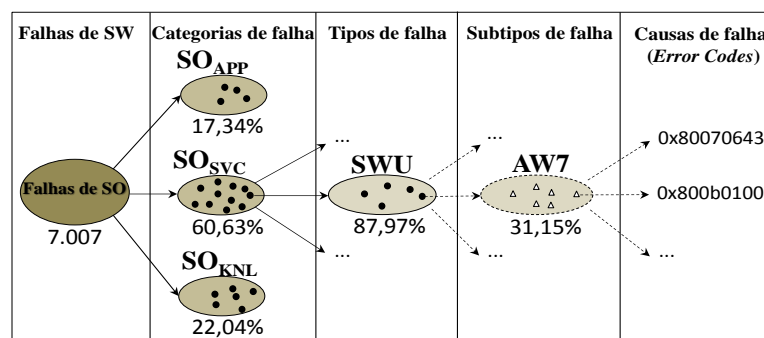


Figura 1. Estratificação da amostra de falhas de sistema operacional analisada.

Pela ausência de trabalhos na literatura sobre padrões de falha de SO, foi necessário definir uma abordagem própria, na forma de um protocolo (ver pág. 35-46 de [Dos Santos e Matias 2016b]), para detectar e caracterizar esses padrões na amostra de trabalho. Uma taxonomia própria foi criada (ver pág. 33-35 de [Dos Santos e Matias 2016b]) para definir os vários conceitos utilizados no protocolo proposto. Neste trabalho, *padrões de falha de SO* são combinações de eventos de falha que se repetem, sistematicamente, na amostra de trabalho.

No protocolo proposto, primeiramente as falhas de SO que ocorreram no maior número de grupos da amostra são identificadas. Essas falhas são utilizadas como referência para a detecção de possíveis padrões de falha, sendo chamadas de *falhas de referência*. A partir das falhas de referência foram identificados os eventos de falha de SO que ocorreram antes e/ou depois delas, ou seja, que podem estar relacionadas com as suas causas ou efeitos. As falhas antes e/ou depois de uma falha de referência são delimitadas pelo tempo de suas ocorrências, ou seja, apenas as falhas que ocorreram em um determinado intervalo de tempo antes e/ou depois da falha de referência são consideradas. Esse *intervalo de busca* é configurável no algoritmo de busca. A associação das falhas de referência com suas *falhas antes* e/ou *falhas depois* é denominada *combinação de eventos*. Quando uma combinação de eventos de falha de SO é observada, de forma consistente, em diferentes computadores do mesmo grupo e de grupos diferentes, então se considera que essa combinação de eventos seja, possivelmente, um padrão de falha de SO. Apenas as combinações de eventos de falha de SO que apresentam maior consistência na amostra de trabalho foram consideradas padrões de falhas neste estudo. A Figura 2 ilustra essas etapas. Abordagem similar foi adotada para investigar padrões nas causas das falhas de SO analisadas, em especial das falhas do serviço *Windows Update* (SWU), haja vista sua prevalência na amostra de trabalho. De forma correspondente à abordagem anterior, primeiramente as causas das falhas de referência são identificadas e posteriormente identificam-se as causas das falhas imediatamente antes e/ou imediatamente depois dessas causas mais recorrentes.

3. Resultados

Foram encontrados 45 padrões de falhas de SO. Esses padrões ocorreram em no mínimo três dos quatro grupos de computadores analisados neste trabalho. Dada a diversidade dos grupos e a quantidade de computadores pesquisados, considerou-se que tais achados são padrões genuínos de falhas do Win7. Verificou-se que AW7 foi o subtipo de falha do *Windows Update* que mais contribuiu para a composição desses padrões. Este subtipo representa falhas em atualizações de *software* aplicadas exclusivamente aos componentes do sistema operacional. Posteriormente, as causas de falha desse subtipo foram analisadas. Observou-se que a maioria dessas falhas está relacionada com fatores que o serviço *Windows Update* depende (ex. espaço em disco e o serviço RPC - *Remote Procedure Call*). O gerenciamento proativo desses fatores objetivando aumentar a confiabilidade do sistema operacional analisado é uma constatação desse estudo. Com respeito às falhas relacionadas com aplicações de SO (SO_{APP}), os resultados indicaram a prevalência de três programas, nesta ordem de importância: explorer.exe, mscorsvw.exe e rundll32.exe. Esses programas fazem parte da infraestrutura do Win7 e executam suas tarefas no espaço do usuário. Com relação às falhas de *kernel* (SO_{KNL}), os resultados obtidos neste estudo corroboram e são consistentes com os resultados reportados em

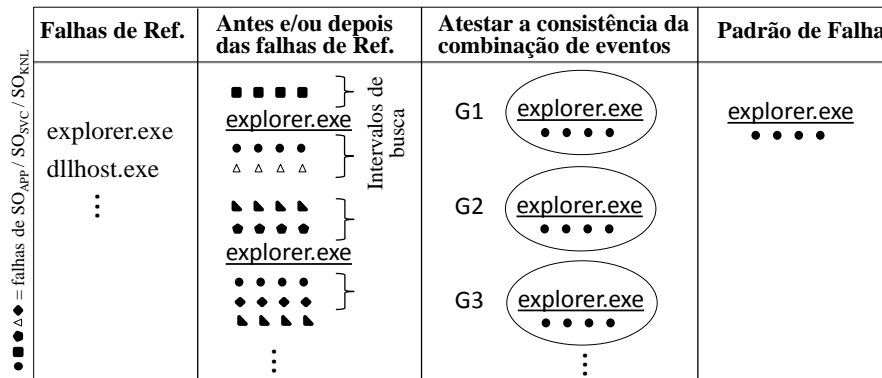


Figura 2. Visão geral das etapas do protocolo de detecção de padrões de falha.

outros trabalhos, ao observar que os *device drivers* foram a principal causa de falha de *kernel* na amostra de trabalho, em especial os *device drivers* de gerenciamento de energia e vídeo. Tendo em vista que as falhas de atualização, relacionadas com o serviço *Windows Update*, foram prevalentes na amostra de trabalho, verificou-se que a maioria dessas falhas teve como causa principal o mau funcionamento do *.Net Framework*. Este achado é um exemplo original de causalidade entre falhas de *software*, relação esta ainda pouco abordada na literatura de engenharia de confiabilidade de *software*.

Por fim, foram encontrados padrões de ocorrência entre diferentes falhas de SO. Por exemplo, falhas que se repetiram após um dado intervalo de tempo (ex. 1 hora, 4 horas) ou durante um intervalo muito curto de tempo (menor do que 1 segundo); também houve casos em que diferentes falhas ocorreram ao mesmo tempo como consequência de uma causa raiz comum. Esses e outros padrões observados são discutidos em detalhes em [Dos Santos e Matias 2016b] (ver pág. 64-74).

4. Conclusão da Pesquisa

Os resultados obtidos indicaram que as falhas de *kernel* representaram apenas 17,34% de todas as falhas de SO da amostra de trabalho. Portanto, a fim de serem mais efetivos, estudos em confiabilidade de SO não deveriam se concentrar apenas em falhas de *kernel*, como tem sido a norma na literatura. Os resultados também mostram fortes evidências de correlação entre falhas; propriedade estatística muitas vezes negligenciada por estudos em confiabilidade de *software*, os quais assumem que falhas de *software* ocorrem de forma independente. As evidências sugerem que esta suposição de independência não é verdadeira para as falhas do *software* de SO investigado neste trabalho. Esse resultado tem implicações importantes no tocante às suposições adotadas em modelos de confiabilidade de *software* de forma geral, em especial aqueles aplicados na análise de confiabilidade de SO. Apesar dos resultados quantitativos deste trabalho serem específicos para o Win7, os algoritmos (ver pág. 35-46 de [Dos Santos e Matias 2016b]) que compõem o protocolo proposto são genéricos suficiente para serem aplicados a qualquer SO de interesse.

5. Contribuição para a Literatura

Os resultados deste estudo foram a base para quatro artigos. O primeiro, [Dos Santos e Matias 2015], ganhou o prêmio de *Best Paper* na categoria “Sistemas Operacionais” do Simpósio Brasileiro de Engenharia de Sistemas Computacionais em 2015. O segundo

artigo, [Dos Santos e Matias 2016a], uma extensão do primeiro, foi publicado no principal periódico internacional de sistemas operacionais, o ACM SIGOPS Operating System Review. O terceiro artigo, [Dos Santos e Matias 2017a], foi publicado na edição 2017 do ACM Symposium on Applied Computing (*OS Track*). Por fim, um quarto artigo, [Dos Santos e Matias 2017b], foi publicado no periódico internacional Elsevier Journal of Systems and Software.

References

- Dos Santos, C.A.R. e Matias, R. (2015) “An Empirical Study on Failure Causes in a Commercial Off-the-Shelf Operating System”, Proc. 5th Brazilian Symp. on Computing Systems Engineering.
- Dos Santos, C.A.R. e Matias, R. (2016a) “Exploratory Analysis on Failure Causes in a Mass-Market Operating System”, ACM SIGOPS Operating Systems Review - Special Topics, 50(1), pp. 18-30.
- Dos Santos, C.A.R. e Matias, R. (2016b) “Um Estudo Exploratório Sobre Padrões de Falhas de Software de Sistemas Operacionais”, Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação). Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG.
- Dos Santos, C.A.R. e Matias, R. (2017a) “An Empirical Study on Patterns of Failure Causes in a Mass-Market Operating System”, Proc. 32th ACM Symposium on Applied Computing. *No prelo*.
- Dos Santos, C.A.R. e Matias, R. (2017b) “Failure Patterns in Operating Systems: An Exploratory and Observational Study”, Elsevier Journal of Systems and Software.
- Goseva-Popstojanova, K. e Trivedi, K.S. (2000) “Failure Correlation in Software Reliability Models”, IEEE Trans. on Reliability, 49(1), pp. 37-48.
- Li, P.L., Ni, M., Xue, S., Mullally, J.P., Garzia, M. e Khambatti, M. (2008) “Reliability Assessment of Mass-Market Software: Insights from Windows Vista”, Proc. 19th Int’l Symp. on Software Reliability Engineering, pp. 265-270.
- Lyu, M. (2007) “Software *Reliability* Engineering: A Roadmap”, Proc. 29th Int. Conf. Softw. Eng., Future Softw. Eng., pp.153 -170.
- Matias R., Oliveira G. e Araújo L. (2013) “Operating System Reliability from the Quality of Experience Viewpoint: An Exploratory Study”, Proc. 28th ACM Symposium on Applied Computing, pp.1644-1649.
- Microsoft (2007) “Reliability Infrastructure”, [https://technet.microsoft.com/pt-br/library/cc732712\(v=ws.10\).aspx](https://technet.microsoft.com/pt-br/library/cc732712(v=ws.10).aspx), Março.
- NetMarketShare (2017) “Desktop Operating System Market Share”, <http://www.netmarketshare.com/operating-system-market-share.aspx?qprid=10&qpcustomd=0>, Março.
- Swift, M. M., Bershada, B. N. e Levy, H. M. (2003) “Improving the Reliability of Commodity Operating Systems”, Proc. 19th ACM Symposium on Operating Systems Principles, pp. 207-222.

Texture analysis using complex system models: fractal dimension, swarm systems and non-linear diffusion

Bruno Brandoli Machado¹, Jose Fernando Rodrigues Junior¹

¹University of São Paulo (ICMC/USP)
13566-590, São Carlos, SP, Brasil

brunobrandoli@gmail.com, junio@icmc.usp.br

Abstract. *Texture is one of the primary visual features used to computationally describe the patterns found in nature. Existing computational methods, however, do not successfully discriminate the complexity of texture patterns. Such methods disregard the possibility of describing images by benefiting from the complex systems properties that are characteristic to textures. To do so, we created approaches based on the Bouligand-Minkowski fractal dimension, swarm-system Artificial Crawlers, and non-linear diffusion of Perona-Malik, techniques that led to methodologies with efficacy and efficiency comparable to the state-of-the-art. The results achieved in the four methodologies described in this work demonstrated the validity and the potential of our hypothesis in tasks of pattern recognition. The contributions of our methodologies shall support advances in materials engineering, computer vision, and agriculture.*

1. Introduction

Texture is an important visual attribute in computer vision with many areas of applications. Recently, texture analysis has been widely applied to remote sensing [1], industrial inspection [2], medical image analysis [3], face recognition [4], among many others. Although the human visual system can easily discriminate textural patterns, the description by automatic methods has been a great challenge. Indeed, there is no universally accepted definition of texture. It is usually referred to as a repetitive pattern that can vary according to the size, which produces different tactile sensations associated with roughness, coarseness, and regularity. Furthermore, texture patterns are related to the physical properties of surfaces present in images, making them a powerful tool for image analysis.

The proposed methods have been grouped according to the mathematical aspects used to handle the patterns present in the images. There are five major categories: structural, statistical, spectral, model-based, and agent-based. The structural methods rely on primitives that provide a symbolic description of the images [5]. The idea comes from concepts on mathematical morphology, which describes an image by evolving morphological operations with different sizes of structuring elements, a useful technique to handle shapes in textures. Statistical methods represent textures by the spatial distribution of the gray-level pixels in the image. One of the best methods of this category, and still very popular, is *co-occurrence matrices* [6]. In the same line, Dmitry Chetverikov [7] introduced the technique named *interaction map*. Similarly, Ojala et. al. [8] proposed a method that describes images based on the occurrence of gray values on circular local neighborhoods; it is named local binary patterns (LBP). Xiaoyang et al. [9] extended the idea of LBP to local ternary pattern (LTP), which considers the magnitude of pixel derivatives along with its sign to generate the ternary code.

Model-based methods were proposed with the assumption that textures can be represented by mathematical models, including stochastic models of Markov random fields

[10] and fractality [11]. Particularly, fractal geometry has drawn great attention on the task of describing textures. The main reason is because fractal geometry is able to describe irregular or fragmented shapes of natural phenomena, as well as other complex objects that traditional Euclidean geometry is not able to describe. The fractal concept is expressed by the time-domain statistical scaling laws and is characterized by the power-law behavior of physical systems. This idea makes use of the geometrical interpretation of objects and takes into account the degree of regularity of the structure related to its physical behavior [11].

Most of the methods used in texture analysis are restricted to the analysis of the spatial relations over small neighborhoods, or they are based on the extraction of global features of the whole image on a single scale. As a consequence, they do not perform well in high-complex geometry textures. In contrast, spectral methods or signal processing methods, including Fourier analysis [12], Gabor filters [13], wavelet transform methods [14], were developed inspired by evidence that the human visual system describes images by the frequency domain. However, the Fourier transform lacks spatial information, what impairs its potential for image description. Although Gabor filters present joint image resolution in both the spatial and frequency domains, they do not describe well coarse textures; this is because the energy of such textures is concentrated in subimages of lowest frequencies. In contrast with Gabor filters, wavelets decompose a texture image into a set of frequency channels. However, wavelet analysis is basically a linear analysis and suffers from uniformly-poor resolutions over different scales and from its non-data adaptive nature, since the same wavelet basis is used to analyze all the data.

2. Goals and Contributions

The goal of this thesis is to propose solutions to overcome the drawbacks of current texture analysis methods. To reach this goal, we have proposed new methods for texture description based on complex systems, including fractal dimension, swarm systems, non-linear diffusion models, and complex networks. We have addressed two main issues found in typical statistical and model-based texture descriptors: (1) the lack of a multiscale representation to capture the richness of local features in different levels of observation; and, (2) although fractal descriptors proved to be a promising texture descriptor, current methods do not explicitly consider the neighborhood relation in terms of the gray levels of the texture. In this work, we evaluated our methods over four well-known texture benchmarks: Brodatz, Vistex, Outex and Usptex. In addition, our methods were compared with state-of-the-art texture methods. The motivation to develop our methods is that they are suitable for real-world applications, as in material engineering and agriculture, leading to better or automatic decisions. As we show along the text, we focus on nanomaterial quality assessment and on plant disease identification in soybean leaves.

2.1. Theoretical Contributions

The first contribution of this work is a methodology for texture description. We surpass the state-of-the-art, as proposed by Zhang and Chen [15], by introducing a new rule of movement that considers both high and low-level intensities on images using the swarm system named *artificial crawler*. We developed an improved method for assessing the quality of the silk fibroin scaffolds with two rules of movement: maxima and minima. Our goal is to provide an effective method to support visual analysis, thus reducing the subjectivity of the human analysis. We evaluated the potential of the silk fibroin by including glycerol in the solution during scaffold formation. This work was published in the *Computational Science and Discovery Journal* [16].

The second contribution of this thesis is an extended with the Bouligand-Minkowski fractal dimension method. The methodology is based on the energy information of the artificial crawler swarm system extracted from two rules of movement. Similar to the method proposed in the first contribution, each agent is able to move to the higher intensities, as well as to lower ones. Although we can find the minima and maxima of images directly, the underlying idea is to characterize the path of movement during the evolution process. Our method differs from our first contribution since we quantify the state of the swarm system after stabilization by employing the Bouligand-Minkowski fractal dimension method. In the method, the energy information was considered the most important attribute due to its capacity of representing the interaction between the movement of agents and the environment. This work was published in the journal *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* [17] and, an example of the path configuration for 1,000 artificial crawlers is presented in Figure 1.

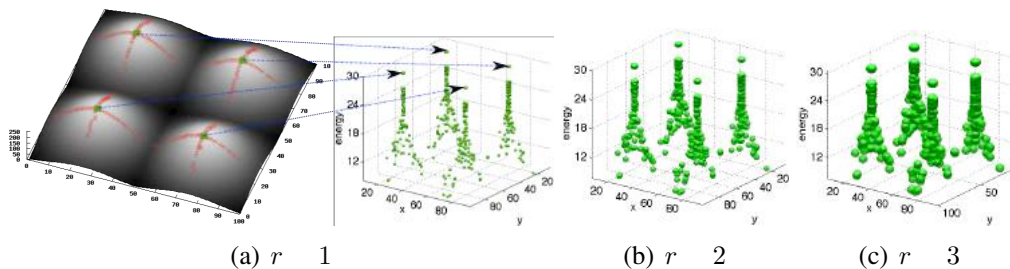


Figure 1. (a) An image example and the mapping of artificial crawler agents, after convergence, onto a 3D space, (b) and (c) show an illustration of the dilation process for the fractal dimension of the swarm system artificial crawlers.

The third contribution of this thesis is a multiscale texture descriptor based on non-linear diffusion designed to better represent textures in the task of image classification. Many recent texture-analysis methods are developed to extract measures on a single scale. In contrast, we assume that an image texture reveals different structures according to the scale of observation, so that the scale concept of multiscale representation is of crucial importance [18]. Thus, we iteratively represent the original image in a set of new images, where images are combinations of both oscillatory (texture) and geometrical (cartoon) patterns, we get two components for the derivative images. At each iteration step, we estimate the average and deviation of the descriptors computed over the two components. We then combine the measures from both components to compose our feature vector. The fractal dimension is adopted here due to its precision in quantifying structural properties. Experimental results over four well-known texture datasets reveal a superior performance of our method. This work was first published in the *Proceedings of the 13th International Conference on Advanced Concepts for Intelligent Vision Systems* with Gabor filters [19]. Later, a new research involving fractal descriptors was submitted to the *Pattern Recognition Letters Journal* [18] and the main idea of the proposal is presented in Figure 2.

2.2. Applied Contributions

The fourth contribution of this work is the application of image analysis methods in an innovation project that resulted in a software registration deposit, in a commercial application (available at the GooglePlay store), and on a publication in the *Computer Electronics and Agriculture Journal* [20]. In this case, we assume that a leaf image presents

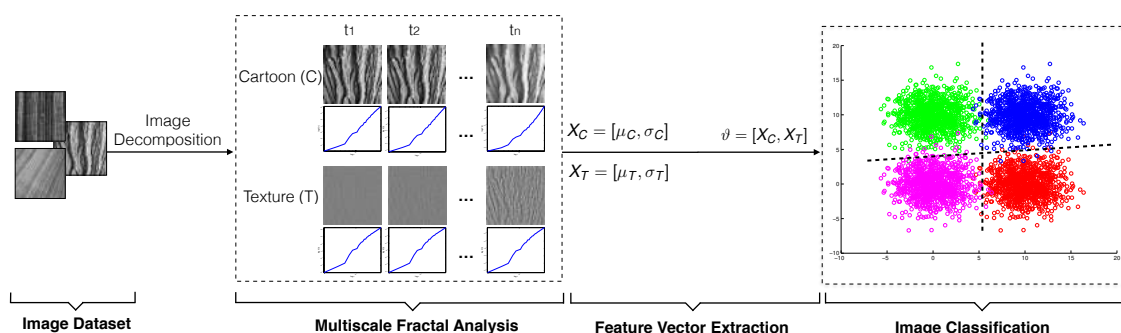


Figure 2. Schematic representation of our multiscale proposal.

different details according to the scale of analysis, which is suitable to describe fractal-like structures as observed in leaves. The texture analysis has been integrated to the mobile application named *BioLeaf - Foliar Analysis*. In the same line and with fractal dimension, we have been used it to measure the spraying coverage to assess the quality of pesticide spraying machines, an application named *DropLeaf - Deposition Analysis*. This mobile application is in a commercial negotiation. We invite the reader to visit the BioLeaf and at DropLeaf website at <http://bioleaf.icmc.usp.br> and <http://dropleaf.icmc.usp.br>, which present all the details of the applications.

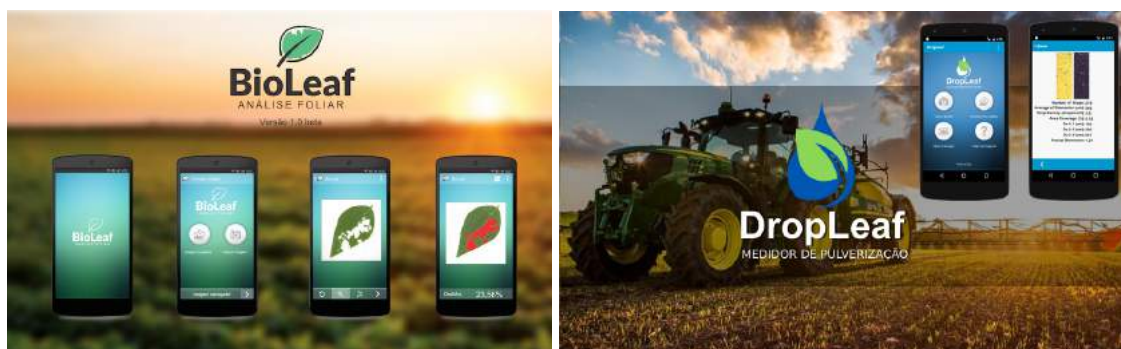


Figure 3. (a) Screenshots of BioLeaf - Foliar Analysis and, in (b) screenshots of DropLeaf - Deposition Analysis.

The fifth contribution of this thesis is a complex network approach for particle agglomeration analysis in nanoscale images. In this work, instead of assuming that a nanoscale image is a textured surface, we have modeled the nanoparticles like vertices of a graph, while connections are created according to a thresholding for density estimation over a certain radius. For each nanoparticle, we calculate its density. Two particles are linked, defining an edge, only if their distance is smaller than a given radius and its density is higher than a given threshold. This work was published in the *Journal of Nanoparticle Research* [21]. Furthermore, this work was integrated into an expert system (see Figure 4), named NanoImage Analyzer, and it was submitted for software registration also at INPI.

3. Conclusion

Texture description has always been a challenging task in image analysis and computer vision. Texture analysis methods have emerged as important tools for real-world appli-

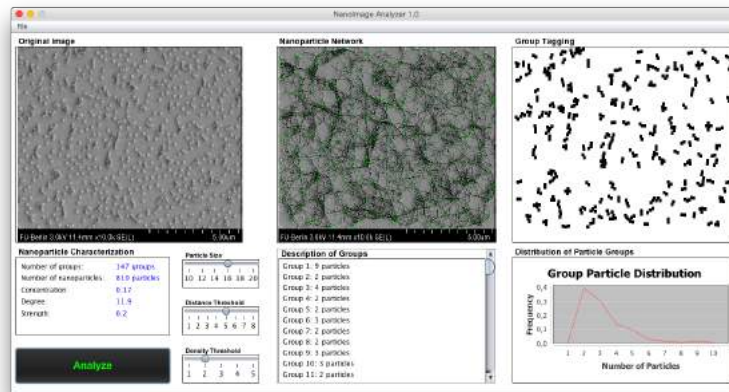


Figure 4. Tool NanolmageAnalyzer for analysis of nanoparticles agglomeration. It can be downloaded freely at <http://nanoanalyzer.icmc.usp.br>

cations, this is because they can learn patterns from objects or regions with annotated examples. Typically, such methods aim to measure raw image pixels into a discriminant data space. Despite the achievements, effective feature description is still a challenge. In this work, we introduced novel methods for texture description applied over domains ranging from agriculture to nanomaterials. We have achieved promising results, as previously discussed, with the aim of demonstrating that texture, as found in nature, is of great potential in image analysis and computer vision.

In conclusion, this work departed from the hypothesis that the use of texture information can improve systems that depend on image analysis. We tested this initial assumption over several domains using different proposed methods. Our results, as discussed in the previous section, demonstrated that, indeed, multiscale image representation has potential in enhancing the discriminatory power when the scale is taken into account. Future directions of the feature design are lead by advances in deep neural network construction, that has brought a significant breakthrough for feature description, however, our preliminary experiments showed that it is needed a large number of training samples for achieving good results.

References

- [1] M. Gong, Y. Li, L. Jiao, M. Jia, and L. Su, “Sar change detection based on intensity and texture changes,” *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 93, no. 0, pp. 123–135, 2014.
- [2] C. S. Tsang, H. Y. Ngan, and G. K. Pang, “Fabric inspection based on the elo rating method,” *Pattern Recognition*, vol. 51, no. 3, pp. 378–394, 2016.
- [3] N. Zagliam, P. Jouviet, O. Flechelles, G. Emeriaud, and F. Cheriet, “Computer-aided diagnosis system for the acute respiratory distress syndrome from chest radiographs,” *Computers in Biology and Medicine*, vol. 52, no. 0, pp. 41–48, 2014.
- [4] R. Mehta, J. Yuan, and K. Egiazarian, “Face recognition using scale-adaptive directional and textural features,” *Pattern Recognition*, vol. 47, no. 5, pp. 1846–1858, 2014.
- [5] Y. Chen and E. Dougherty, “Gray-scale morphological granulometric texture classification,” *Optical Engineering*, vol. 33, no. 8, pp. 2713–2722, 1994.
- [6] R. M. Haralick, “Statistical and structural approaches to texture,” *Proceedings of the IEEE*, vol. 67, no. 5, pp. 786–804, 1979.

- [7] D. Chetverikov, “Texture analysis using feature based pairwise interaction maps,” *Pattern Recognition*, vol. 32, pp. 487–502, March 1999.
- [8] T. Ojala, M. Pietikäinen, and T. Mäenpää, “Multiresolution gray-scale and rotation invariant texture classification with local binary patterns,” *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 24, pp. 971–987, July 2002.
- [9] X. Tan and B. Triggs, “Enhanced local texture feature sets for face recognition under difficult lighting conditions,” *Image Processing, IEEE Transactions on*, vol. 19, pp. 1635–1650, June 2010.
- [10] G. R. Cross and A. K. Jain, “Markov random field texture models,” *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 5, pp. 25–39, 1983.
- [11] C. Tricot, *Curves and fractal dimension*. Springer-Verlag, 1995.
- [12] R. Azencott, J.-P. Wang, and L. Younes, “Texture classification using windowed fourier filters,” *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 19, pp. 148–153, February 1997.
- [13] D. Gabor, “Theory of communication,” *Journal of Institute of Electronic Engineering*, vol. 93, pp. 429–457, November 1946.
- [14] S. Mallat and S. Zhong, “Characterization of signals from multiscale edges,” *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 14, no. 7, pp. 710–732, 1992.
- [15] D. Zhang and Y. Q. Chen, “Artificial life: a new approach to texture classification,” *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, vol. 19, no. 3, pp. 355–374, 2005.
- [16] B. B. Machado, W. N. Goncalves, and O. M. Bruno, “Artificial crawler model for texture analysis on silk fibroin scaffolds,” *Computational Science and Discovery*, vol. 0, no. 7, p. 015004, 2014.
- [17] W. N. Goncalves, B. B. Machado, and O. M. Bruno, “Texture descriptor combining fractal dimension and artificial crawlers,” *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, vol. 395, pp. 358–370, 2014.
- [18] B. B. Machado, W. N. Goncalves, M. do Santos, and J. F. R. Jr., “Multiscale fractal description using non-linear diffusion of perona-malik for texture analysis,” *Pattern Recognition Letters*, 2016.
- [19] B. B. Machado, W. N. Goncalves, and O. M. Bruno, “Enhancing the texture attribute with partial differential equations: a case of study with gabor filters,” in *Proceedings of the 13th international conference on Advanced concepts for intelligent vision systems*, ACIVS’11, pp. 337–348, Springer-Verlag, 2011.
- [20] B. B. Machado, J. Orue, M. dos Santos, D. Sarath, G. Goncalves, W. N. Goncalves, H. Pistori, R. R. Mauro, and J. F. R. Jr., “Bioleaf: a professional mobile application to measure foliar damage caused by insect herbivory,” *Computer Electronics and Agriculture*, vol. 129, no. 3, pp. 44–55, 2016.
- [21] B. B. Machado, L. Scabini, M. do Santos, W. N. Goncalves, R. Moraes, and J. F. R. Jr., “A complex network approach for nanoparticle agglomeration analysis in nanoscale images,” *Journal of Nanoparticle Research*, vol. 19, no. 2, pp. 65–73, 2017.

Um Novo Algoritmo IA-RSA Ciente de Imperfeições de Camada Física para Redes Ópticas Elásticas

Alexandre Fontinele, André Soares (Orientador)

¹Departamento de Computação – Universidade Federal do Piauí (UFPI)
Teresina – PI – Brasil

alexandrefontinele@gmail.com

Abstract. *This paper proposes a new Impairment-Aware Routing and Spectrum Assignment (IA-RSA) algorithm for elastic optical networks. The goal of the algorithm is to reduce the blocking probability caused by the degradation of the quality of transmission from new establishments of circuits. Our proposal is compared to two other IA-RSA algorithms: Modified Dijkstra Path Computation (MD-PC) e K-Shortest Path Computation (KS-PC). Simulation results show that the proposed algorithm outperforms the MD-PC and KS-PC algorithms in terms of i) circuit blocking probability, ii) bandwidth blocking probability, iii) fairness of service to different source-destination pairs, and iv) fairness of service to different bandwidths for the EON and NSFNet topologies.*

Resumo. *Este artigo propõe um novo algoritmo de roteamento e alocação de espectro ciente dos efeitos de camada física (IA-RSA – Impairment-Aware Routing and Spectrum Assignment) para redes ópticas elásticas. O objetivo do algoritmo proposto é reduzir a probabilidade de bloqueio causada pela degradação da qualidade de transmissão quando novos circuitos são estabelecidos. O algoritmo proposto é comparado com outros algoritmos IA-RSA: Modified Dijkstra Path Computation (MD-PC) e K-Shortest Path Computation (KS-PC). Resultados de simulação mostram que o algoritmo proposto apresenta um desempenho superior ao dos algoritmos MD-PC e KS-PC em termos de i) probabilidade de bloqueio de circuitos, ii) probabilidade de bloqueio de banda, iii) justiça no atendimento de diferentes pares de nós origem e destino e iv) justiça no atendimento de diferentes larguras de banda para as topologias EON e NSFNet.*

1. Introdução

As soluções de transporte de dados baseadas em rede óptica têm se mostrado promissoras para o futuro das comunicações ópticas de alta velocidade [Chatterjee et al. 2015]. Nas últimas décadas, as soluções de redes ópticas de transporte implantadas e estudadas na literatura eram fortemente baseadas na tecnologia WDM (*Wavelength Division Multiplexing*) [Nath et al. 2014]. Em uma rede óptica WDM, o espectro é dividido em comprimentos de onda de tamanho fixo [Chatterjee et al. 2015]. A utilização de comprimentos de onda de tamanho fixo provoca a subutilização dos recursos da rede, pois cada requisição de circuito pode requerer diferentes larguras de banda.

Devido à essa deficiência, o uso da tecnologia OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) foi proposto recentemente. Uma rede óptica OFDM tem o potencial de alocar espectro para os circuitos ópticos de acordo com os requisitos de largura de

banda. Com a tecnologia OFDM o espectro óptico é dividido em slots de frequência (12,5 GHz) e para cada circuito pode ser alocado uma quantidade diferente de slots [Chatterjee et al. 2015]. A utilização do espectro óptico em uma rede óptica OFDM é mais eficiente quando comparada a de uma rede óptica WDM. Essa flexibilidade de alocação de largura de banda das redes ópticas OFDM deu origem a uma nova geração de redes ópticas de transporte, chamada de redes ópticas elásticas.

Para o estabelecimento de um circuito óptico em uma rede óptica elástica é necessário resolver o problema de roteamento e alocação de espectro (RSA – *Routing and Spectrum Assignment*) [Chatterjee et al. 2015]. O problema RSA consiste em definir uma rota para um par de nós origem e destino. Em seguida, a solução RSA deve escolher uma faixa de espectro livre (conjunto de slots de frequência contíguos) na rota definida para estabelecer o circuito óptico.

O sinal óptico sofre degradação à medida que se propaga da origem para o destino devido às imperfeições da camada física. O acúmulo das degradações no sinal óptico ao longo de uma rota pode tornar a taxa de erro de bit (BER – *Bit Error Rate*) intolerável no receptor, inviabilizando a comunicação. Nesse contexto, algoritmos RSA que levam em consideração as imperfeições de camada física (IA-RSA – *Impairment-Aware RSA*) tornam-se mais apropriados para encontrar uma solução para o problema de roteamento e alocação de espectro.

Este artigo apresenta o trabalho que foi desenvolvido na dissertação [Fontinele 2016]. Em [Fontinele 2016] foi apresentado um novo algoritmo de roteamento e alocação de espectro ciente de imperfeições da camada física em redes ópticas elásticas (IA-RSA). O algoritmo proposto busca estabelecer novos circuitos reduzindo o impacto na qualidade de transmissão (QoT – *Quality of Transmission*) dos outros circuitos já ativos na rede. É também apresentado um estudo de avaliação de desempenho comparando o algoritmo proposto com outros dois algoritmos IA-RSA do estado da arte. Os resultados mostram um desempenho superior do algoritmo proposto em relação aos outros algoritmos para diferentes métricas de avaliação.

As demais seções deste artigo estão organizadas da seguinte forma. A Seção 2 discute os trabalhos relacionados e apresenta as contribuições deste artigo. O algoritmo proposto é apresentado na Seção 3. A Seção 4 apresenta um estudo de avaliação de desempenho do algoritmo proposto. Por fim, as conclusões do trabalho são destacadas na Seção 6.

2. Trabalhos Relacionados

A maioria dos trabalhos existentes em redes ópticas elásticas utiliza um limiar de alcance de transmissão [Jinno et al. 2010, Zhou et al. 2012, Gong et al. 2013, Izquierdo-Zaragoza et al. 2014, Chatterjee et al. 2015] relacionado a cada formato de modulação. Também é utilizada uma banda de guarda para evitar a interferência entre circuitos adjacentes. Entretanto, esses métodos podem superestimar ou subestimar os impactos das imperfeições de camada física nas conexões [Zhao et al. 2015].

O conceito de algoritmos RSA cientes de imperfeições de camada física (IA-RSA) é importante devido aos efeitos prejudiciais da coexistência de vários circuitos ópticos com diferentes formatos de modulações e taxas de bits [Beyranvand and Salehi 2013].

Também é importante escolher o formato de modulação adequado para um circuito através de algoritmos RSA cientes de qualidade transmissão [Beyranvand and Salehi 2013, Chatterjee et al. 2015].

Os autores em [Beyranvand and Salehi 2013] propõem um esquema de RSA ciente da qualidade de transmissão (QoT) para redes ópticas elásticas. O esquema emprega três etapas: i) cálculo das rotas viáveis, ii) seleção de uma rota e iii) alocação de espectro. O artigo apresenta um modelo analítico para calcular o SNR (*Signal to Noise Ratio*) de uma dada rota. Baseado no esquema proposto são apresentados dois algoritmos IA-RSA: *Modified Dijkstra Path Computation* (MD-PC) e *K-Shortest Path Computation* (KS-PC).

Algoritmos RSA cientes de QoT devem garantir a qualidade do sinal de um circuito em estabelecimento sem interromper os circuitos já presentes na rede. Essa preocupação com a QoT dos circuitos já ativos na rede ainda é pouco estudada em redes ópticas elásticas [Chatterjee et al. 2015, Zhao et al. 2015]. A principal contribuição deste artigo é a proposta de um novo algoritmo IA-RSA para redes ópticas elásticas sob tráfego dinâmico. O principal diferencial do algoritmo proposto em relação às outras propostas presentes na literatura são as estratégias utilizadas para as escolhas do formato de modulação e da rota para cada circuito óptico em estabelecimento. Essas estratégias buscam estabelecer circuitos mais resistentes às degradações dos efeitos de camada física e que reduzam o impacto na QoT dos outros circuitos já ativos na rede.

3. Algoritmo Proposto

O algoritmo IA-RSA proposto neste trabalho é chamado de k menores caminhos com redução de QoTO (KSP-RQoTO – *K-Shortest Path with Reduction of QoTO*). O algoritmo computa os k menores caminhos para cada par origem e destino da rede em uma fase off-line. No momento que a rede está em operação, o algoritmo proposto busca alocar uma das k rotas alternativas de forma a minimizar o bloqueio do tipo QoTO (QoT inadequada para os outros circuitos ópticos já ativos na rede). O fluxograma ilustrado na Figura 1 apresenta os passos seguidos pelo algoritmo proposto na fase de operação da rede.

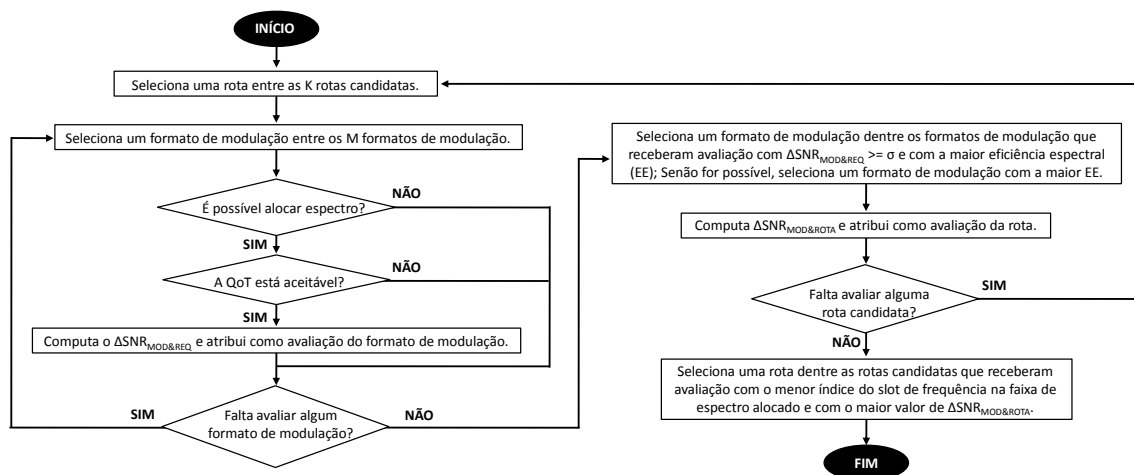


Figura 1. Fluxograma do algoritmo KSP-RQoTO.

O primeiro passo do algoritmo KSP-RQoTO é selecionar um formato de modulação para cada rota candidata. O parâmetro σ é utilizado para ajudar a buscar

por formatos de modulação que deixem os circuitos mais resistentes a interferências de outros circuitos. A escolha do valor ideal de σ deve ser feita durante a fase de planejamento da rede ou durante uma alteração da configuração da rede. O segundo passo do algoritmo KSP-RQoTO é selecionar uma rota entre as rotas candidatas. O algoritmo tenta escolher rotas que reduzam a fragmentação do espectro e que causem menos degradações nos circuitos já ativos. Mais detalhes sobre o funcionamento do algoritmo KSP-RQoTO podem ser encontrados na Seção 4.1 em [Fontinele 2016].

4. Avaliação de Desempenho

O algoritmo proposto, KSP-RQoTO, foi comparado com os algoritmos KS-PC e MD-PC sob os aspectos de i) probabilidade de bloqueio de circuito, ii) probabilidade de bloqueio de banda, iii) justiça no atendimento de diferentes pares de nós origem e destino e iv) justiça no atendimento de diferentes larguras de banda. Foram utilizadas quatro rotas candidatas para os algoritmos de k menores caminhos. O algoritmo *First-Fit* foi utilizado para a alocação de espectro. Devido ao limite de páginas serão apresentados apenas os resultados de probabilidade de bloqueio de circuito e justiça no atendimento de diferentes pares de nós origem e destino. Os demais resultados e mais detalhes sobre os cenários das simulações podem ser encontrados na Seção 4.2 em [Fontinele 2016].

A Figura 2 apresenta as probabilidades de bloqueio de circuitos obtidas com os algoritmos KSP-RQoTO, KS-PC e MD-PC em função da carga na rede para as topologias EON e NSFNet. O valor entre parênteses na legenda do algoritmo KSP-RQoTO, ilustrada na Figura 2, corresponde ao valor ideal para σ . Observando a Figura 2, nota-se que, sob os valores de carga analisados, o algoritmo KSP-RQoTO apresentou melhor desempenho em termos de probabilidade de bloqueio de circuitos do que os algoritmos KS-PC e MD-PC para as duas topologias consideradas.

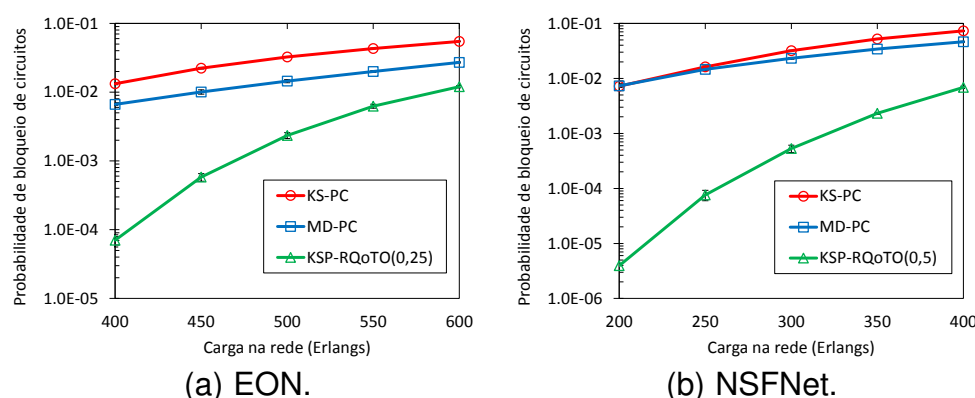


Figura 2. Probabilidades de bloqueio de circuito obtidas pelos algoritmos KS-PC, MD-PC e KSP-RQoTO para as topologias (a) EON e (b) NSFNet.

Sob uma carga de 600 Erlangs na topologia EON, Figura 2(a), os algoritmos KS-PC, MD-PC e KSP-RQoTO obtiveram 5,48%, 2,71% e 1,20% de probabilidade de bloqueio de circuito, respectivamente. Para esses valores de probabilidades de bloqueio de circuito, o ganho do KSP-RQoTO em relação aos algoritmos KS-PC e MD-PC foi de aproximadamente 78,10% e 55,75%, respectivamente. Sob uma carga de 400 Erlangs na topologia NSFNet, Figura 2(b), os algoritmos KS-PC, MD-PC e KSP-RQoTO alcançaram

7,30%, 4,63% e 0,69% de probabilidade de bloqueio de circuito, respectivamente. O ganho do algoritmo KSP-RQoTO em relação aos algoritmos KS-PC e MD-PC foi de aproximadamente 90,59% e 85,18%, respectivamente.

A Figura 3 mostra o desempenho dos algoritmos KS-PC, MD-PC e KSP-RQoTO em termos do desvio padrão entre as probabilidades de bloqueio de circuito para cada par de nós origem e destino nas topologias EON e NSFNet. Como pode ser observado na Figura 3, o algoritmo KSP-RQoTO mostra um menor desvio padrão quando comparado aos outros algoritmos analisados para ambas as topologias consideradas. Isto significa que o algoritmo KSP-RQoTO apresenta um maior nível de justiça no atendimento de diferentes pares de nós origem e destino na rede quando aplicado nas topologias EON e NSFNet em relação aos algoritmos KS-PC e MD-PC.

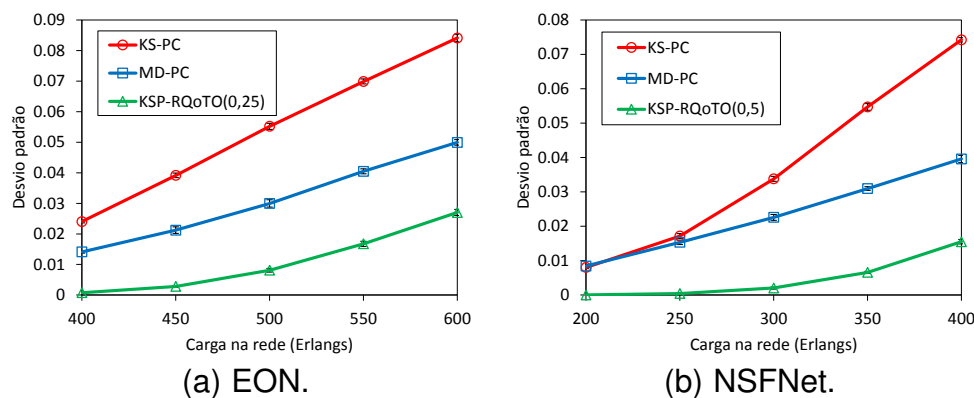


Figura 3. Desvio padrão entre as probabilidades de bloqueio de circuitos obtidas para cada par de nós origem e destino para os algoritmos KS-PC, MD-PC e KSP-RQoTO nas topologias (a) EON e (b) NSFNet.

5. Publicações

As soluções propostas ao longo do mestrado, que geraram a dissertação, e que foram publicadas podem ser encontradas na Seção 1.5 da dissertação [Fontinele 2016]. As publicações mais recentes que contém os resultados apresentados na dissertação foram no SBRC 2016 (Qualis B2) [Fontinele et al. 2016] e na revista Computer Networks (Qualis A1) [Fontinele et al. 2017].

6. Conclusões

Este artigo resumiu a contribuição da dissertação de mestrado [Fontinele 2016], que estudou roteamento e alocação de espectro ciente dos efeitos de camada física em redes ópticas elásticas. Foi apresentado o algoritmo KSP-RQoTO, que tem como objetivo estabelecer circuitos que causem o menor impacto na QoT dos outros circuitos já ativos na rede.

O algoritmo KSP-RQoTO apresentou um desempenho superior ao dos algoritmos KS-PC e MD-PC em termos de i) probabilidade de bloqueio de circuito, ii) probabilidade de bloqueio de banda, iii) justiça no atendimento de diferentes pares de nós origem e destino e iv) justiça no atendimento de diferentes larguras de banda para as topologias EON e NSFNet.

Em geral, em termos de probabilidade de bloqueio de circuitos, o algoritmo proposto apresenta um ganho mínimo de 78,10% e 55,75% quando comparado aos algoritmos KS-PC e MD-PC, respectivamente. Além disso, o algoritmo proposto apresenta um desempenho superior quando comparado aos algoritmos KS-PC e MD-PC em termos de justiça.

Referências

- Beyranvand, H. and Salehi, J. (2013). A quality-of-transmission aware dynamic routing and spectrum assignment scheme for future elastic optical networks. *Journal of Lightwave Technology*, 31(18):3043–3054.
- Chatterjee, B. C., Sarma, N., and Oki, E. (2015). Routing and spectrum allocation in elastic optical networks: A tutorial. *IEEE Communications Surveys Tutorials*, 17(3):1776–1800.
- Fontinele, A. (2016). *Um Novo Algoritmo RSA Ciente de Imperfeições de Camada Física para Redes Ópticas Elásticas*. Universidade Federal do Piauí, Teresina.
- Fontinele, A., Santos, I., Neto, J. N., Campelo, D. R., and Soares, A. (2017). An efficient ia-rmlsa algorithm for transparent elastic optical networks. *Computer Networks*, 118:1 – 14.
- Fontinele, A., Santos, I., Nolêto-Neto, J., Campelo, D., and Soares, A. (2016). Um novo algoritmo rsa ciente de imperfeições de camada física para redes ópticas elásticas. In *XXXIV Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos (SBRC)*, pages 322–335.
- Gong, L., Zhou, X., Liu, X., Zhao, W., Lu, W., and Zhu, Z. (2013). Efficient resource allocation for all-optical multicasting over spectrum-sliced elastic optical networks. *IEEE/OSA Journal of Optical Communications and Networking*, 5(8):836–847.
- Izquierdo-Zaragoza, J.-L., Pavon-Marino, P., and Bueno-Delgado, M.-V. (2014). Distance-adaptive online rsa algorithms for heterogeneous flex-grid networks. In *2014 International Conference on Optical Network Design and Modeling*, pages 204–209.
- Jinno, M., Kozicki, B., Takara, H., Watanabe, A., Sone, Y., Tanaka, T., and Hirano, A. (2010). Distance-adaptive spectrum resource allocation in spectrum-sliced elastic optical path network [topics in optical communications]. *IEEE Communications Magazine*, 48(8):138–145.
- Nath, I., Chatterjee, M., and Bhattacharya, U. (2014). A survey on regenerator placement problem in translucent optical network. In *2014 International Conference on Circuits, Systems, Communication and Information Technology Applications (CSCITA)*, pages 408–413.
- Zhao, J., Wymeersch, H., and Agrell, E. (2015). Nonlinear impairment aware resource allocation in elastic optical networks. In *2015 Optical Fiber Communications Conference and Exhibition (OFC)*, pages 1–3.
- Zhou, X., Lu, W., Gong, L., and Zhu, Z. (2012). Dynamic rmlsa in elastic optical networks with an adaptive genetic algorithm. In *2012 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM)*, pages 2912–2917.

Contributions to the Automatic Restoration of Images from Scenes in Participating Media

Paulo L. J. Drews-Jr¹, Erickson R. Nascimento¹, Mario F. M. Campos¹

¹Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação (PPGCC) - UFMG

Abstract. *This work deals with the problem of image restoration of monocular images acquired in participating media, i.e. media that interfere with light propagation. Specifically, the proposed work focus on the automatic restoration of images acquired in underwater and foggy/hazy scenes. The proposed restoration process requires at least a pair of images as input and produces images in which the medium effects are attenuated and the visibility improved. Differently from previous works, our method does not need additional equipment or information. We proposed a new model-based approach by estimating the depth map and the attenuation coefficient. We performed experimental evaluation in real and simulated environments with significant improvement in the quality of the images.*

1. Introduction

The computer vision and image processing fields have witnessed remarkable advances on a wide range of real world problems. Regardless of the advances, almost all of the techniques assumes that scene and camera are immersed in a non-participating medium, *i.e.* they assumed that the light rays travel through the medium without any alteration. However, there are some media that change the intensity and the direction of the light rays, called participating medium. Among them, the most important in practical terms are the water and haze/fog.

A myriad of problems need to deal with images acquired in participating media, *e.g.* surveillance, mapping, autonomous robots and vehicles [Roser et al. 2014] to name a few. The effects of absorption and light scattering in participating medium decrease the overall contrast on images and causes color shifting, which reduce visibility on underwater scenes, for instance.

The main contribution is a new automatic method capable of restoring monocular sequences of images acquired in participating medium without any additional information. The method is based on temporal relation, three-dimensional structure and medium properties. The main steps of our approach are depicted in the outline in Fig. 1. The method is initialized by using a new transmission prior that provides an initial estimation of the scene depth which allow us to compute the optical flow. Structure from motion techniques based on a novel optical flow model provide an estimation of the depth map, which is used for computing the attenuation coefficient and subsequently to restore the image sequence. The obtained results shows significant improvements in several quantitative metrics.

The techniques presented in this work open new opportunities to use the legacy computer vision and image processing methods in participating medium. Thus, the proposed work impacts in recent technologies such as autonomous car, underwater robotics and surveillance.

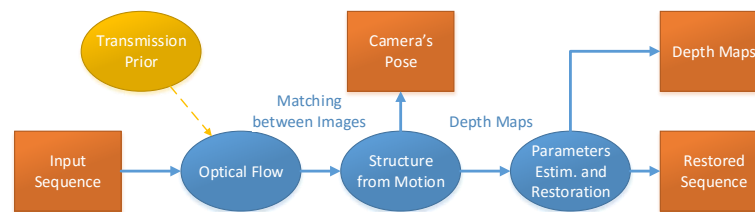


Figure 1. Outline of our image restoration methodology. We estimate a transmission map based on priors. This map allows us to compute the optical flow. Then, depth maps are predicted using structure from motion techniques. Finally, the medium parameters and the restored images are estimated. The orange boxes are the inputs/outputs data, the blue ellipses are the proposed steps, and the yellow ellipse is the prior that provides the optical flow initialization.

The results of this work were partly published in international conferences and an international journal¹. The works also received two awards². Furthermore, some papers are under submission/review³. The code of the UDCP is freely available⁴

2. Related Works

Several approaches have been proposed to tackle the problem of restoring images acquired in participating media, namely, specialized hardware, polarization filters and stereo images [Roser et al. 2014]. Although the high quality of the reported results using specialized hardware, most of these methods are expensive and require complex setup. The use of polarizers is cumbersome, even though images acquired with them present good results. The main drawback of this technique is the need to identify the maximum and

¹ • Drews-Jr, P. L. J. ; Nascimento, E. R. ; Botelho, S. S. C.; Campos, M. F. M. Underwater Depth Estimation and Image Restoration Based on Single Images. IEEE Computer Graphics and Applications, vol. 36(2), pp. 50-61, 2016 – **A2** in the Qualis-CC.
 • Drews-Jr, P. L. J. ; Hernández, E. ; Elfes, A. ; Nascimento, E. R. ; Campos, M. F. M. Real-Time Monocular Underwater Obstacle Avoidance. In: IEEE/RSJ IROS, 2016 – **A1** in the Qualis-CC.
 • Ponce, A. N. H. ; Torres-Mendez, L. A. ; Drews-Jr, P. L. J. Using a MRF-BP Model with Color Adaptive Training for Underwater Color Restoration. In: IEEE/IAPR ICPR, 2016 – **A1** in the Qualis-CC.
 • Ponce, A. N. H. ; Torres-Mendez, L. A. ; Drews-Jr, P. L. J. A statistical learning approach for underwater color restoration with adaptive training based on visual attention. In: IEEE OCEANS, 2016 – Most Important Conf. in the Oceanic Engineering field.
 • Gaya, J. ; Gonçalves, L. T. ; Duarte, A. C. ; Zanchetta, B. ; Drews-Jr, P. L. J. ; Botelho, S. S. C. Vision-Based Obstacle Avoidance Using Deep Learning. In: IEEE LARS/SBR, 2016 – **B4** in the Qualis-CC.
 • Drews-Jr, P. L. J. ; Nascimento, E. R. ; Campos, M. F. M. ; Elfes, A. . Automatic Restoration of Underwater Monocular Sequences of Images. In: IEEE/RSJ IROS, 2015 – **A1** in the Qualis-CC.
 • Concha, A. ; Drews-Jr, P. L. J. ; Campos, M. F. M. ; Civera, J. . Real-time localization and dense mapping in underwater environments from a monocular sequence. In: IEEE OCEANS, 2015 – Most Important Conf. in the Oceanic Engineering field.
 • Drews-Jr, P. L. J. ; Nascimento, E. R. ; Xavier, A. ; Campos, M. F. M. . Generalized Optical Flow Model for Scattering Media. In: IEEE/IAPR ICPR, 2014 – **A1** in the Qualis-CC.
 • Drews-Jr, P. L. J. ; Nascimento, E. R. ; Moraes, F. C. ; Botelho, S. S. C.; Campos, M. F. M. Transmission Estimation in Underwater Single Images. In: IEEE ICCV - Workshop on Underwater Vision, 2013 – Workshop of **A1** in the Qualis-CC

² • Drews-Jr, P. L. J. ; Nascimento, E. R. ; Campos, M. F. M. Contributions to the Automatic Restoration of Images from Scenes in Participating Media. In: Robotica - III Workshop on MSc Dissertation and PhD Thesis in Robotics (CTDR), CER-SBC, 2016 – **Best PhD Thesis**.
 • Drews-Jr, P. L. J. ; Nascimento, E. R. ; Campos, M. F. M. Contributions to the Automatic Restoration of Images from Scenes in Participating Media. In: Conference on Graphics, Patterns and Images - Workshop of Theses and Dissertations (SIBGRAPI-WTD), CEGRAPI-SBC, 2016 - 2nd Place in the PhD Track.

³ • Drews-Jr, P. L. J. ; Nascimento, E. R. ; Campos, M. F. M. Restoration of Sequences of Monocular Images Acquired in Participating Media. Computer Vision and Image Understanding, 22 pages – **A1** in the Qualis-CC.
 • Drews-Jr, P. L. J. ; Nascimento, E. R. ; Campos, M. F. M. A Survey of Visual Image Restoration in Scattering Media. ACM Computing Surveys, 38 pages – **A1** in the Qualis-CC.
 • Gaya, J.; Moraes, F. C.; Duarte, A. C.; Drews-Jr, P. L. J.; Botelho, S. S. C. Single Image Restoration for Participating Media Based on Prior Fusion. Pattern Recognition Letters, 7 pages – **A1** in the Qualis-CC.

⁴ <http://goo.gl/4m81yr>

minimum polarization states. In the case of stereo systems, the correspondence problem is also difficult to solve due to the effects imposed by the medium.

Several methods based on single images have been proposed in the literature, e.g. [He et al. 2011, Kim et al. 2012]. While they show good results on foggy images, their performance degrades in underwater scenarios. The main issue of these methods is the estimation based on heuristics, which may hold true only for restricted conditions.

Very few studies have addressed the problem of image restoration of a sequence of images. In the work of [Zhang et al. 2011], a method to estimate the medium transmission based on priors and optical flow is presented to enhance the visibility of hazy images. Despite the interesting results, it is based on assumption of brightness constancy that does not hold true on participating media. The temporal coherence is taken into account to estimate the transmission map in the work of [Kim et al. 2012], however this method also can fail in typical situation due to the same assumption. A large review of the state-of-the-art is presented in Chap. 2.

Differently from the aforementioned works, our approach is based on temporal relation, three-dimensional structure and medium properties. These information are fused to provide a more robust image restoration method.

3. Methodology

In this work we present a new automatic methodology to restore images acquired in participating media. Assuming the model previously described, the problem of image restoration may be reduced to the problem of estimating the medium parameters and the depth map.

Our methodology is composed of three main steps: the dense correspondence between images by estimating the optical flow, the 3D structure estimation, and parameter estimation and image restoration. Fig. 1 depicted the proposed methodology.

Firstly, we estimate a transmission map based on a new prior. Recently, several priors for single images have been proposed. They enable us to estimate the medium transmission, and, consequently, the depth map up to scale. Among them, the most successful prior is the Dark Channel Prior (DCP) [He et al. 2011]. Although the dark channel assumption sounds acceptable in underwater medium, the wavelength independence is clearly false in most of the cases. Therefore, we proposed a new prior called Underwater DCP (UDCP). The method only uses the green and blue channels due to the difficult to modeling the behavior of the red channel. This phenomenon is mainly related to the high absorption effect in the red channel which imposes it to be near zero in many situations. The methodology and a experimental verification of the method is found in Chap. 3.1.

This map allows us to compute the optical flow. However, the majority of state-of-the-art in terms of optical flow methods assumes constancy in the brightness patterns in the image, but this assumption does not hold true for participating media. Therefore, we proposed the Generalized Optical Flow Model (GOFM). GOFM assumes that the brightness in the image is not constant because of the effects of the medium. Nevertheless, it assumes that the scene radiance is approximately constant. More details are provided in Chap. 3.2.

Depth maps are predicted using structure from motion techniques. We adopted a

set of state-of-the-art techniques as detailed in Chap. 3.3.

Finally, the attenuation parameter and the restored images are estimated (details in Chap. 3.4). The restoration is achieved using an algebraic inversion of the simplified light propagation model (Chap. 2.1). A new interpretation from the model allows us to estimate the attenuation coefficient based on the depth maps in two consecutive frames. Assuming the same 3D point in the scene. This approach is highly dependent on the quality of the depth maps and, mainly, the optical flow. Thus, we imposed a new constraint inspired in the work of [Roser et al. 2014] to improve the robustness of our approach. The new cost function imposes several constraint that enable us to estimate the coefficient using a robust optimization method.

In addition to the restored images, our method also produces an estimation of the depth maps, the camera's pose and the attenuation coefficient of the medium, which can be used in specific applications such as automatic obstacle avoidance, surveillance or localization.

4. Experimental Results

We obtained results using simulated and real datasets, all of them with qualitative and quantitative evaluation. We compared our approach with the single image methods DCP[He et al. 2011]/UDCP and two enhancement techniques: histogram equalization and contrast-limited adaptive histogram equalization (CLAHE). Simulated results are just shown in Chap. 4.3.

Quantitative results are obtained using the metric proposed by [Hautière et al. 2008]. They define three different indexes: e , \bar{r} and s that evaluates the number of edges, the overall contrast and the number of saturated pixels. These three indexes allow us to estimate an empirical restoration score $\tau = e + \bar{r} + (1 - s)$, where larger values mean better restoration. We also perform quantitative results by matching SIFT [Lowe 2004] descriptors. It allow us to evaluate the ability of the descriptor to identify and match features from a raw and restored image.

4.1. Real Results

We show real results in two scenarios. Firstly, we captured underwater images in the Brazil's Southeast Coast with depth ranging from 12m to 20m using an underwater robot, the Seabotix LBV300-5, equipped with a color camera. Furthermore, we captured a sequence from a residential area in a foggy day.

For the underwater sequence, the estimated attenuation coefficient is $\eta = [0.0335, 0.0331, 0.0289]$ for each RGB channel, respectively. The blue channel typically has a smaller attenuation value while the red channel has a larger value as shown in the results. It is worth noting that this coefficient is obtained up to a scale factor due to the depth map estimation, and they are similar to each other due to the water characteristics and depth of the image acquisition.

Fig. 2(a) is a sample underwater image with limited visibility and significant color distortion. Fig. 2(b) shows restored image by our method, where the quality is improved. Results obtained using CLAHE are shown in Fig. 2(d), where the contrast and the noise are increased, and the colors are distorted. Restored images using histogram equalization and UDCP are shown in Fig. 2(c) and 2(e), respectively.

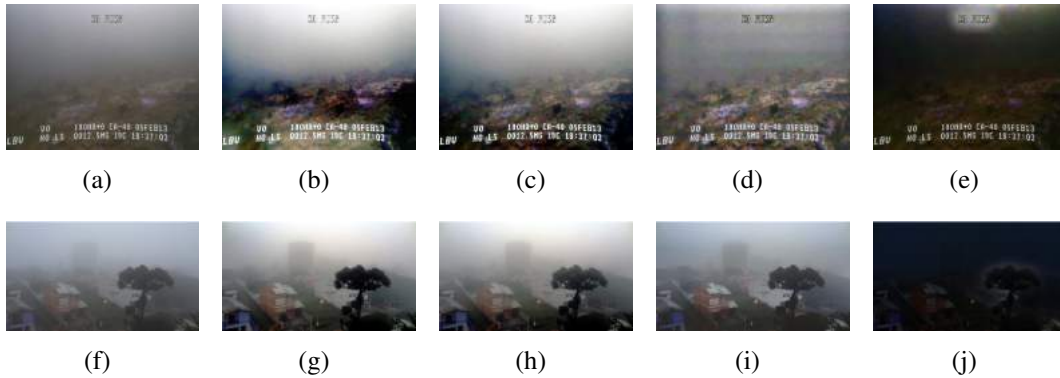


Figure 2. Qualitative comparison using a sample image acquired in naturally lit shallow oceanic water and in a foggy day: original image (a,f), restored using our method (b,g), histogram equalization (c,h) , CLAHE (d,i), UDCP (e), and DCP [He et al. 2011] (j).

Table 1. Comparative study using the average of the restoration score τ [Hautière et al. 2008] and SIFT matching [Lowe 2004] for the sequences in Fig. 2. The best and second best results are highlighted in blue and light blue letters, respectively.

	Underwater Sequence					Foggy Sequence				
	e	\bar{r}	τ	Match.	Pts.	e	\bar{r}	τ	Match.	Pts.
UDCP/DCP	1.7089	1.2591	3.9678	1	18	1.4185	0.7877	3.2063	10	30
Hist. Eq.	2.5430	2.4544	5.9885	10	197	1.5540	1.8267	4.3667	70	286
CLAHE	1.8821	2.8494	5.7315	11	391	0.4996	1.5081	3.0077	65	265
Our Method	2.7057	2.6493	6.3488	33	375	1.5804	1.9689	4.5430	78	360

Table 1 shows qualitative evaluation for the underwater sequence. Our method outperforms the others in term of the τ metric. Our method obtains improvement in terms of contrast and slightly smaller values in terms of new edges. CLAHE obtains the largest values of \bar{r} because of the increase in the overall contrast, however with some color distortion and increasing the noise. Our approach also provides the largest number of correct matches using SIFT [Lowe 2004]. However, the number of detected keypoints for the CLAHE method is the largest. This results is expected since the restoration obtained by CLAHE presented a large \bar{r} . However, this restoration is not stable, thus it does not increase the number of correct matches. Our method is able to significantly improve the number of matches, as well as the number of detected keypoints. It is also corroborated by the improvement in terms of contrast, \bar{r} .

A foggy sequence is also shown in Fig. 2. Fig.2(f) shows a sample image that presents limited visibility and color distortion. Fig. 2(g) shows our restoration. The visibility and the color are improved, mainly in the houses (bottom left). The buildings in the center of the image are under a strong “haze” layer, thus limiting the capability of restoration due to the loss of information. However, the contours of the buildings are recovered by our approach. The result for histogram equalization (Fig. 2(h)) is similar to our result. One important difference can be noted in the largest tree that our method is able to improve. The result produced by CLAHE (Fig. 2(i)) is imperceptible. DCP fails to estimate the global light (Fig. 2(j).), thus the image becomes darker with limited restoration.

The estimated attenuation coefficient for the foggy sequence is $\eta = [0.1752; 0.2026; 0.1882]$. Differently to the underwater sequence, the red channel is the smallest attenuation coefficient while the green channel presents the largest value. These three coefficients are relatively similar ($\approx 15\%$) as expected.

Table 1 also shows qualitative evaluation for the foggy sequence. Our method outperforms the others in term of the τ metric. Our method obtains similar results to histogram equalization method. However, our method presents a small advantage in all metrics. The results of CLAHE technique is limited, presenting a small improvement. Therefore, CLAHE obtains the smallest values in the number of edges and the τ metric. DCP distorts the colors, but this fact is not taken into account by this metric. Our method obtains the largest number of correct matches using SIFT [Lowe 2004], as well as detected keypoints. More results are shown in Chap. 4.

5. Conclusions

This work proposed a new methodology to restore sequences of images acquired in participating media. We explore the temporal relation between the images that allow us to estimate structure of the scene, camera's pose and depth maps. The relation is obtained by a new optical flow formulation adapted for participating media that depends on the knowledge of the medium transmission, which is computed by UDCP/DCP. Finally, we developed a new robust methodology to estimate the most critical parameter of the medium: the attenuation coefficient. Qualitative and quantitative results in real images show the quality of the restoration obtained by our approach. The estimated depth maps is still limited, but enough to the restoration task. The proposed method to estimate the attenuation coefficient is robust even in the presence of outliers.

Future work will focus on investigating the structure from motion method to improve the depth map estimation and the inclusion of artificial illumination in the scene. Furthermore, a new method to quantitatively evaluate the image restoration methods will be investigated.

References

- [Hautière et al. 2008] Hautière, N., Tarel, J.-P., Aubert, D., and Dumont, E. (2008). Blind contrast enhancement assessment by gradient ratioing at visible edges. *ISS IAS*, 27(2):87–95.
- [He et al. 2011] He, K., Sun, J., and Tang, X. (2011). Single image haze removal using dark channel prior. *IEEE TPAMI*, 33(12):2341–2353.
- [Kim et al. 2012] Kim, J., Jang, W., Park, Y., Lee, D., Sim, J., and Kim, C. (2012). Temporally coherent real-time video dehazing. In *IEEE ICIP*, pages 969–972.
- [Lowe 2004] Lowe, D. G. (2004). Distinctive image features from scale-invariant keypoints. *IJCV*, 60(2):91–110.
- [Roser et al. 2014] Roser, M., Dunbabin, M., and Geiger, A. (2014). Simultaneous underwater visibility assessment, enhancement and improved stereo. In *IEEE ICRA*, pages 3840–3847.
- [Zhang et al. 2011] Zhang, J., Li, L., Zhang, Y., Yang, G., Cao, X., and Sun, J. (2011). Video dehazing with spatial and temporal coherence. *The Visual Computer*, 27(6-8):749–757.

A Framework for Predictable Hardware/Software Component Reconfiguration

João Gabriel Reis¹, Eduardo Augusto Bezerra (Advisor)²,
Antônio Augusto Fröhlich (Co-advisor)¹

¹ Software/Hardware Integration Laboratory – Federal University of Santa Catarina
Florianópolis – SC – Brazil

² Embedded Systems Group – Federal University of Santa Catarina
Florianópolis – SC – Brazil

jgreis@lisha.ufsc.br, eduardo.bezerra@eel.ufsc.br, guto@lisha.ufsc.br

Abstract. *The current pace of innovation in computing makes it difficult to assume a fixed set of requirements for the whole life span of a system. Aggressive technology scaling also imposes additional constraints to modern hardware platforms. Field-Programmable Gate Array (FPGA) reconfiguration can help systems cope with dynamic requirements such as performance and power, hardware defects due to Negative-Bias Temperature Instability (NBTI) and Process, Voltage and Temperature (PVT) variations, or application requirements unforeseen at design time. This work proposes a framework for reconfigurable components whereby the reconfiguration of a component implementation is performed transparently without user intervention. The reconfiguration process is confined in system's idle time without interfering with or being interfered by other activities occurring in the system or even peripherals performing I/O. A telecommunications switch was used as a case study for the deployment of reconfigurable components as well as the impact I/O interference has in the process and to explore non-functional trade-offs between implementations.*

1. Introduction

Many modern computing application scenarios, including smartphones, autonomous vehicles, and IoT devices, evolve so quickly that it is no longer viable to define a fixed set of requirements for the whole design process. Increasingly, systems are having to adapt themselves on-the-fly in order to cope with varying (and sometimes conflicting) requirements. Additionally, these scenarios are being enabled by aggressive technology scaling, which, besides producing low-cost, high-performance systems, also brings about a series of new issues such as process variation, failure of Dennard's law, and emergence of dark silicon [Taylor 2012, Rahimi et al. 2015]. These systems must constantly monitor and adapt themselves in order to be energy-efficient and to wear out evenly, being often called *self-aware* [Sarma and Dutt 2014, Falaki 2012, Pant et al. 2012, Donyanavard et al. 2016, Rahimi et al. 2015, Wanner and Srivastava 2014]. In this context, rigidly partitioning components between software and hardware inevitably leads to sub-optimal results, once the design space for each component becomes constrained by other component's requirements, by system-wide requirements, and by the overall availability of resources, even if those components are not meant to be used simultaneously.

Adapting components at run-time is an alternative to cope with dynamically changing requirements such as performance and power [Li et al. 2013]. Adaptability also improves tolerance to hardware faults, particularly those arising from Negative-Bias Temperature Instability (NBTI) and Process, Voltage and Temperature (PVT) variations [Martins et al. 2015]. An adaptive component architecture enables each individual component to exist in multiple implementations, each encompassing a specific compromise between the quality of the functionality being provided and the resources needed to provide it [Reis et al. 2015]. For instance, a component may coexist as a sequential software to be run in a single CPU, as a parallel software to be run on a multicore CPU or on a GPU, as hardware to be instantiated on an FPGA, or as a remote (web) service. With proper run-time support, different implementations of a component can be activated along the time, enabling the system as a whole to cope with the demands presented at each moment. Multimedia, vision, and physical simulations are good example of subsystems that make use of components that can be adapted in this sense.

2. Contributions

This work proposes a framework whereby reconfiguring the current component implementation is a deterministic process performed without modifying its interface. The reconfiguration is a deterministic process aiming not to disrupt critical system activities. We consider that a reconfigurable component can have multiple implementations with different functional, quality, and business trade-offs. The framework delivers a tailored wrapper for each component according to the number of implementations it has. Each implementation can use different resources in different substrate (e.g. processor core, Field-Programmable Gate Array (FPGA)) and better suit the application at given moment according to the embedded system environmental conditions. Reconfigurable components have a single interface such that from the application point of view, components implementation using software or reconfigurable hardware resources can be invoked seamlessly. The main contributions of this work are:

- The reconfigurable components implementations deployed in the framework are designed following Application-Driven Embedded System Design (ADESD) techniques [Fröhlich 2001], a domain engineering methodology.
- The process of reconfiguring the component implementation is transparent from the application point of view, confined in the system's idle time, and designed not to interfere with critical threads executed by the system.
- Despite being temporally isolated from other threads, the reconfiguration can have its timing determinism compromised when interfered by background I/O operations, specially when a new implementation must be reconfigured in an FPGA.

3. Proposal

In Chapter 3 it is shown how the syntax and semantics of the component interface in our system are preserved across the multiple implementations, such that an application sees no difference (other than changes in quality and cost associated with the component usage) when implementations are changed. The adaptation system is aware of the system behavior by means of models of system and components behavior (e.g. performance, temperature, aging). By feeding those models with data from sensors captured during run-time, it is possible to predict if by reconfiguring a component, the system can

improve a system-level metric (e.g. throughput, energy, temperature) and delegate the action to a manager. Multiple implementations can be available through a pool from which the reconfiguration system can choose based their inherent characteristics. The process is depicted in Figure 1.

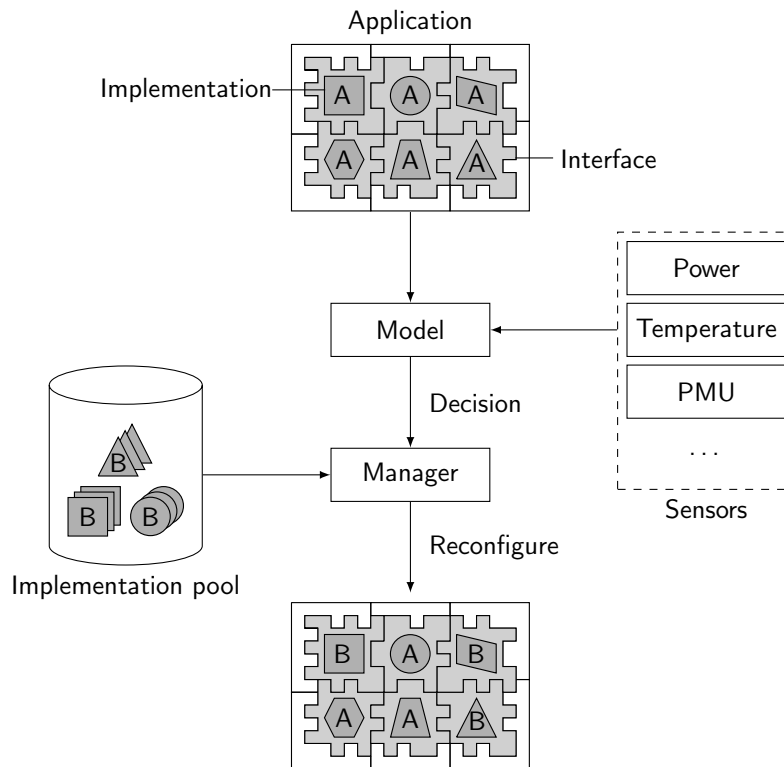


Figure 1. Components reconfiguration. Multiple implementation are available in a pool and can be deployed according decisions based on models inferring system behavior from on sensor data.

The process of reconfiguring the component implementation, presented in Chapter 5, is transparent from the application point of view, confined in the system's idle time, and designed not to interfere with critical threads executed by the system. By delegating reconfiguration to lower-level software layers that can reason on the system's current state, the reconfiguration process becomes transparent from the application point of view as the application programmer does not have to be aware that the reconfiguration is happening. The reconfiguration process of each component is divided into small tasklets such that its largest atomic step can typically be performed within available system slack as long as processor utilization is under 100 %. Performing reconfiguration only when the system is idle allow the systems to temporally isolate other critical operations from it and mitigate the inflicted interference. The reconfiguration process time takes extra care for I/O interference from external system components in a speculative fashion by monitoring system execution.

Despite being temporally isolated from other threads, the reconfiguration can have its timing determinism compromised when interfered by background I/O operations, specially when a new implementation must be reconfigured in an FPGA. A large FPGA bitstream used to store its configuration must be moved from memory to the FPGA recon-

figuration interface while, for example, a video stream is being moved from the memory to a video interface. The sharing of hardware resources (interconnects and memory interfaces) by both streams of data results in an increased execution time for both operations due to interconnect scheduling policies and limited memory bandwidth. Our reconfiguration process speculatively monitors the I/O traffic sources to predict when to deploy FPGA reconfiguration without the hazard of being interfered by other peripherals. It is also capable of powering down devices being used by non-critical threads to reduce I/O interference and prioritize the reconfiguration. In Figure 2 we present how our approach can cope with interference by isolating the reconfiguration process. Peripherals being used by non-critical threads can still interfere with the reconfiguration process are suspended as shown in Figure 2a. Figure 2b shows that the I/O activity performed by the reconfiguration interface is confined in the idle thread with the supporting reconfiguration operations and does not interfere with other I/O controllers.

In Chapter 4, we also propose a static performance-estimation technique for the time delay caused by I/O interference when moving data through shared chip resources such as interconnects and memory controllers. The model uses concepts from queuing theory and estimates the average time each peripheral data transaction has to wait on shared resources. The higher latency and throughput degradation is due to other peripherals' transactions that are passing through the same shared resources that queue the transactions before forwarding them. Such model is specially helpful to illustrate the increase in the FPGA reconfiguration time (specially bitstream loading) when multiple peripherals are contending for system I/O resources. It is also meant to be used as a design tool for application designers to ensure a minimal interference between threads that depend on I/O resources.

4. Concluding remarks and work impact

This work presented a transparent framework for reconfigurable computing geared towards the application programmer. Reconfigurable components interfaces may be realized through many different implementations, ranging from high-quality software versions to software approximations, cloud offloaders, and hardware accelerators. While the syntax and semantics of reconfigurable components interface is preserved across the different implementations, the system may at any time pick any of the implementations that suits better for the current execution context. The framework manages the whole reconfiguration process and ensures that it can be used in critical systems without interfering in its time constraints. With our reconfiguration mechanism, a task set schedulable on a reconfigurable fabric large enough to accommodate at the same time all hardware components used by its tasks, will still be schedulable on a smaller reconfigurable fabric where only some components can be simultaneously instantiated in hardware. The remaining components are momentarily deployed in software without compromising to the tasks requirements since all activities pertaining reconfiguration are performed within the slack time and made aware of I/O interference.

The work resulted in the following publications:

- *OS Support for Adaptive Components in Self-aware Systems*, In: ACM SIGOPS Operating Systems Review. To appear.
- *A Framework for Dynamic Real-Time Reconfiguration*, In: 18th Euromicro Conference on Digital Systems Design, 2015.

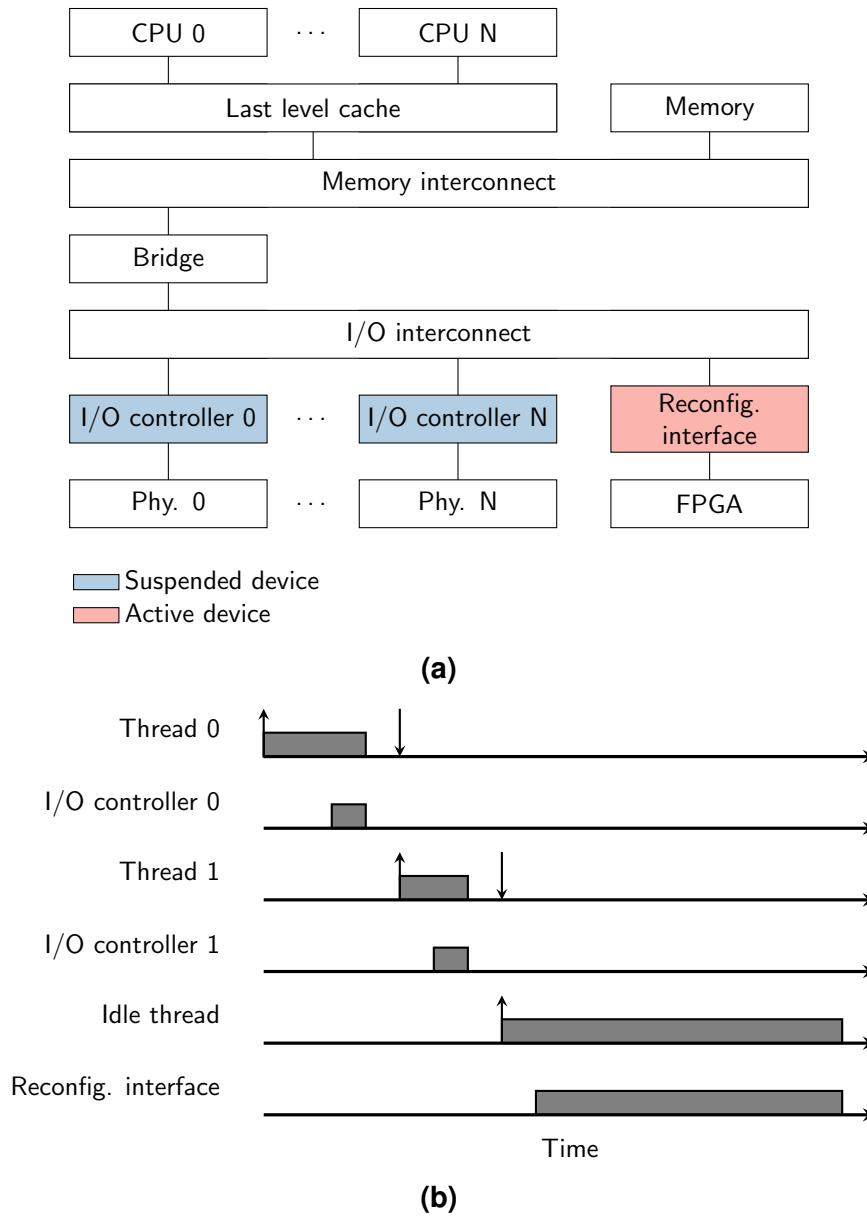


Figure 2. a) I/O controllers are suspended to prioritize the reconfiguration of a component that benefits a more critical thread. b) Reconfiguration is confined in the idle thread and thus does not interfere and is not interfered by other threads.

- *X-Ware: Mutant Computing Substrates*, In: 26th IEEE International Symposium on Rapid System Prototyping, 2015.
- *On the FPGA Dynamic Partial Reconfiguration Interference on Real-Time Systems*, In: 5th Brazilian Symposium on Computing Systems Engineering, 2015. **Best paper award.**
- *Mutant Components: Efficiently Managing Multiple Implementations*, In: 6th Brazilian Symposium on Computing Systems Engineering, 2016. **Best paper award.**

References

- Donyanavard, B., Mück, T., Sarma, S., and Dutt, N. (2016). SPARTA: Runtime task allocation for energy efficient heterogeneous many-cores. In *Proc. International Conference on Hardware/Software Codesign and System Synthesis*, pages 27:1–27:10.
- Falaki, H. (2012). *Automating Personalized Battery Management on Smartphones*. PhD thesis, UCLA.
- Fröhlich, A. A. (2001). *Application-Oriented Operating Systems*. Number 17 in GMD Research Series. GMD - Forschungszentrum Informationstechnik, Sankt Augustin.
- Li, Y., Jia, Z., Xie, S., and Liu, F. (2013). Dynamically reconfigurable hardware with a novel scheduling strategy in energy-harvesting sensor networks. *IEEE Sensors Journal*, 13(5):2032–2038.
- Martins, V. M. G., Villa, P. R. C., Neto, H. C. C., and Bezerra, E. A. (2015). A TMR strategy with enhanced dependability features based on a partial reconfiguration flow. In *Proc. IEEE Computer Society Annual Symposium on VLSI*, pages 161–166.
- Pant, A., Gupta, P., and van der Schaar, M. (2012). AppAdapt: Opportunistic application adaptation to compensate hardware variation. *IEEE Transactions on Very Large Scale Integration Systems*, 20(11):1986–1996.
- Rahimi, A., Cesarini, D., Marongiu, A., Gupta, R. K., and Benini, L. (2015). Task scheduling strategies to mitigate hardware variability in embedded shared memory clusters. In *Proc. Design Automation Conference (DAC)'15*, DAC'15, pages 152:1–152:6, New York, NY, USA. ACM.
- Reis, J. G., Wanner, L. F., and Fröhlich, A. A. (2015). X-Ware: Mutant computing substrates. In *Proc. IEEE International Symposium on Rapid System Prototyping (RSP'15)*, Amsterdam.
- Sarma, S. and Dutt, N. (2014). FPGA emulation and prototyping of a cyberphysical-system-on-chip (cpsoc). In *Proc. IEEE International Symposium on Rapid System Prototyping (RSP'14)*, pages 121–127.
- Taylor, M. B. (2012). Is dark silicon useful? harnessing the four horsemen of the coming dark silicon apocalypse. In *Proc. Design Automation Conference*, pages 1131–1136.
- Wanner, L. and Srivastava, M. (2014). ViRUS: Virtual function replacement under stress. In *Proc. USENIX Conference on Power-Aware Computing and Systems (HotPower'14)*, HotPower'14. USENIX.

Online Thread and Data Mapping Using the Memory Management Unit

Eduardo H. M. Cruz, Philippe O. A. Navaux

¹ Instituto de Informática – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

{ehmcruz, navaux}@inf.ufrgs.br

Resumo. *As arquiteturas de computadores atuais incluem complexas hierarquias de memória que introduzem diferentes tempos de acesso à memória. Uma das soluções adotadas para reduzir o tempo de acesso é aumentar a localidade dos acessos à memória através do mapeamento de threads e dados. Nesta tese de doutorado, são propostas soluções inovadoras para identificar um mapeamento que otimize o acesso à memória fazendo uso da unidade de gerência de memória para monitor os acessos. Na avaliação experimental, as soluções melhoraram o desempenho em até 39% e a eficiência energética em até 12,2%. Isto se deu por uma redução substancial da quantidade de faltas na cache, tráfego entre processadores e acessos à bancos de memória remotos.*

1. Introdução

O paralelismo a nível de *threads* tem aumentado em arquiteturas modernas devido ao maior número de núcleos por processador e processadores por sistema. Devido a isto, a complexidade das hierarquias de memória também aumenta. Tais hierarquias podem incluir vários níveis de *cache* privadas ou compartilhadas, bem como tempos de acesso não uniformes à bancos de memória. Um desafio importante para essas arquiteturas é a movimentação de dados entre os núcleos, *caches* e bancos de memória, que ocorre quando um núcleo realiza uma operação de memória. Neste contexto, a redução da movimentação de dados é uma meta importante para arquiteturas futuras para aumentar o desempenho e diminuir o consumo de energia [Borkar and Chien 2011]. Uma das soluções para reduzir a movimentação de dados é melhorar a localidade do acesso à memória através do mapeamento de *threads* e dados [Feliu et al. 2012].

Mecanismos de mapeamento baseados no compartilhamento de dados visam aumentar a localidade mantendo *threads* que compartilham um grande volume de dados próximas na hierarquia de memória (*mapeamento de threads*), e mantendo os dados que as *threads* acessam próximos destas *threads* (*mapeamento de dados*). O desempenho e eficiência energética são aumentados por três razões principais. Em primeiro lugar, as faltas de *cache* são reduzidas, pois diminui o número de invalidações de linha de *cache* em dados compartilhados e reduz a duplicação de linhas de *cache* em várias *caches*. Em segundo lugar, a localidade dos acessos à memória é aumentada através do mapeamento de dados para o nó onde são mais acessados. Em terceiro lugar, a utilização das interconexões no sistema é melhorada pela redução do tráfego em interconexões lentas entre os processadores, utilizando interconexões dentro dos processadores, mais eficientes. A

Este trabalho foi parcialmente apoiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo programa EU H2020 MCTI/RNP-Brasil projeto HPC4E n. 689772, e pela Intel.

falha em identificar o padrão de acesso à memória de uma aplicação pode levar a mapeamentos ruins que reduzem o desempenho e a eficiência energética.

O desenvolvimento de técnicas de mapeamento para ambientes de memória compartilhada é desafiador. Primeiramente, é necessário coletar informações sobre o padrão de compartilhamento de dados das aplicações. Entretanto, a comunicação usando memória compartilhada é implícita e ocorre através do acesso a uma mesma região de memória por diferentes *threads*. Quando o mapeamento é realizado de forma *online*, isto é, durante a execução das aplicações, esta coleta de informações apresenta uma dificuldade adicional, pois o *hardware* existente não provê mecanismos para identificar quais *threads* acessam quais dados. Outro ponto importante é a elaboração de um mecanismo que consiga usar as informações sobre o acesso à memória de forma a se ganhar desempenho e diminuir o consumo energético. Esse mecanismo tem que ser capaz de identificar padrões de acesso e realizar o mapeamento das *threads* e dados de maneira inteligente, evitando sobrecargas. Logo, as duas questões são: (1) *como detectar quais threads acessam quais dados de forma online?* e (2) *como usar estas informações para mapear as threads e dados, também de forma online, melhorando o desempenho e a eficiência energética?*

Fazendo uma análise do estado-da-arte, a maioria dos trabalhos realiza mapeamento de *threads* ou dados apenas, mas não os dois juntos, não sendo capazes de otimizar adequadamente as aplicações. A maioria dos mecanismos que realizam ambos os mapeamentos têm várias desvantagens. Mecanismos estáticos [Cruz et al. 2011] dependem da informação de execuções anteriores, sendo limitados a aplicações cujo comportamento não mudam entre execuções ou durante a execução. Outros mecanismos são *online* [Broquedis et al. 2010], mas exigem anotações de código fonte por parte do programador para funcionar. Alguns [Dashti et al. 2013] usam amostragem e tem uma alta sobrecarga quando aumentamos a quantidade de amostras para alcançar maior precisão. Outros mecanismos dependem de estatísticas indiretas obtidas por contadores de *hardware*, que não representam com precisão o comportamento dos acessos à memória de aplicações paralelas. Várias propostas exigem arquiteturas, APIs ou linguagens de programação específicas, o que limitam suas aplicabilidades. Analisando o estado-da-arte, podemos concluir que, anteriormente a esta tese, *não existia um mecanismo online que podia ser aplicado a qualquer aplicação baseada em memória compartilhada, em que aumentar a sua precisão não aumentasse drasticamente a sua sobrecarga.*

Nesta tese de doutorado, foram propostos mecanismos que preenchiam esta lacuna do estado-da-arte, para realizar o mapeamento de *threads* e dados a fim de se melhorar a localidade dos acessos à memória. As propostas realizam o mapeamento tanto de *threads* como de dados de forma *online*, otimizando o uso de *cache* e diminuindo acessos remotos e uso de interconexões entre processadores. Elas são implementadas diretamente na unidade de gerência de memória dos processadores (MMU – *memory management unit*), o que permite monitorar muito mais acessos à memória do que os trabalhos relacionados de uma forma não intrusiva. Desta forma, pode-se conseguir uma precisão muito maior nos padrões detectados, mantendo uma baixa sobrecarga. Isto acontece porque os mecanismos aqui propostos são híbridos, tendo um suporte em *hardware*, que permite um monitoramento dos acessos à memória de forma transparente. O sistema operacional utiliza as informações geradas pelos mecanismos e realiza o mapeamento de *threads* e dados de forma transparente ao usuário, aumentando o desempenho e a eficiência energética.

Este resumo está organizado da seguinte forma. A Seção 2 explica os mecanismos propostos nesta tese. A Seção 3 descreve os experimentos. A Seção 4 expõe as conclusões. A Seção 5 contém as publicações relacionadas à tese.

2. Mecanismos Propostos para Mapeamento Baseado em Compartilhamento

Na tese, foram propostos 3 mecanismos para detectar o padrão de acesso à memória para o mapeamento. Os mecanismos foram implementados na MMU, fazendo uso do artifício de memória virtual. Os mecanismos propostos são chamados **LAPT**, **SAMMU** e **IPM**. As principais diferenças entre eles consistem em quais informações são coletadas. O LAPT usa faltas na translation lookaside buffer (TLB), o SAMMU inclui um contador de acessos por entrada da TLB, e o IPM usa o tempo que cada página tem sua entrada na TLB. O LAPT possui menor precisão e sobrecarga, o SAMMU maior precisão e sobrecarga, enquanto o IPM possui a melhor relação entre precisão e sobrecarga. Neste resumo, é dada uma breve explicação sobre o IPM. Os outros mecanismos não serão tratados devido a restrições de espaço do artigo.

Uma visão geral de alto nível do funcionamento do MMU, TLB e do IPM é ilustrado na Figura 1. Em cada falta na TLB, o IPM armazena, na memória principal, o *time stamp* do momento que ocorreu a falta. Se uma entrada da TLB deve ser evitada para armazenar a nova entrada, o IPM carrega o *time stamp* correspondente à entrada TLB evitada, salvo na etapa anterior. Subtraindo-se o *time stamp* carregado do *time stamp* do momento da evicção, o IPM sabe quanto tempo a entrada ficou armazenada na TLB. O IPM usa essa diferença de tempo para atualizar as estatísticas da página. Por fim, o IPM notifica o sistema operacional se uma migração de página pode melhorar o desempenho.

Ao conhecimento dos autores, as propostas desta tese foram os primeiros mecanismos a adicionar à MMU a capacidade de monitorar os acessos à memória e realizar os mapeamentos de dados e *threads* via sistema operacional. Além disso, o SAMMU e o IPM foram os primeiros mecanismos a detectar o padrão de acesso à memória para o mapeamento completamente a nível de *hardware*, considerando praticamente todos os acessos à memória para atingir uma alta precisão, ao mesmo tempo que mantém uma baixa sobrecarga. Na tese, como uma contribuição secundária, é proposto também um algoritmo de mapeamento de *threads* chamado **EagerMap**, que atinge uma alta eficiência por se basear em características comuns à padrões de acesso à memória.

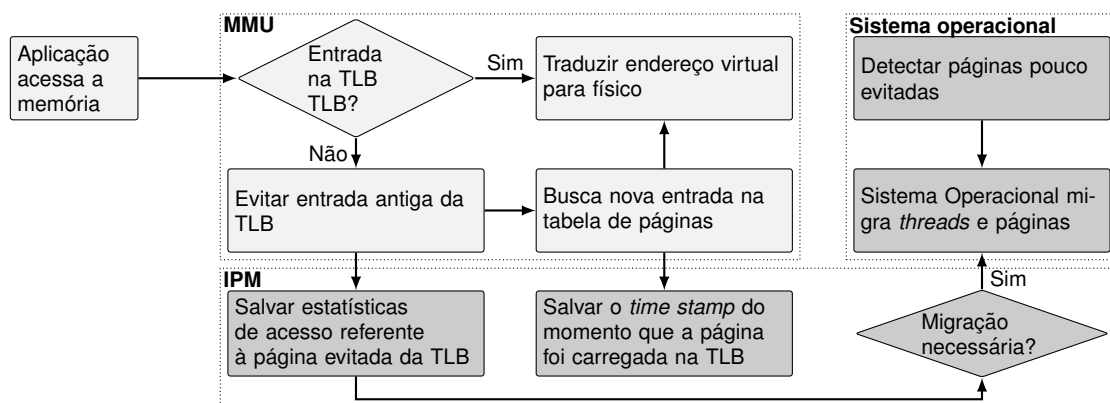


Figura 1. Visão geral da MMU, do IPM e sistema operacional.

3. Resultados Obtidos

Foram realizados experimentos em um simulador completo de sistema, uma máquina real com TLB gerida via *software* e duas máquinas reais com TLB gerida via *hardware*. Como as propostas desta tese são extensões para o *hardware* atual, nas máquinas reais com TLB gerida via *hardware*, foram usadas uma ferramenta de instrumentação de binários para gerar informações sobre os mapeamentos de *threads* e de dados. No simulador e na máquina real com TLB gerida via *software*, as propostas foram implementadas nativamente. Como carga de trabalho, foram utilizados 23 aplicações de *benchmarks* conhecidos (NAS e PARSEC) e uma aplicação real de simulação sísmica (Ondes3d). Essa ampla variedade de arquiteturas e carga de trabalho proveu resultados sólidos que provam a aplicabilidade e eficiência das propostas.

Como principais resultados, o tempo de execução das aplicações foi reduzido em até 39% e a eficiência energética foi melhorada em até 12,2%. Isto foi possível graças a uma expressiva diminuição da quantidade de faltas na *cache*, acessos à bancos de memória remotos, e redução de tráfego nas interconexões. A análise dos resultados permitiu analisar de forma precisa as características de acesso à memória das aplicações que podem se beneficiar do mapeamento. Em comparação a outras políticas de mapeamento do estado-da-arte, as propostas desta tese apresentaram melhores resultados para a maioria das aplicações. Além disso, as propostas apresentaram resultados semelhantes ao melhor mapeamento teoricamente possível, demonstrando suas eficácias.

4. Conclusão

Nesta tese de doutorado, foram propostas novas soluções para aumentar desempenho utilizando o mapeamento de *threads* e dados. As soluções suprem uma lacuna do estado-da-arte: são capazes de atingir alta precisão com uma sobrecarga baixíssima, de forma *online* e transparente. Para tal, as soluções fazem uso da MMU presente nos processadores, pois a MMU de cada núcleo tem acesso a informações sobre todos os acessos à memória. Com o suporte de *hardware* proposto, os mecanismos aqui apresentados são capazes de oferecer uma alta precisão com uma baixa sobrecarga de desempenho. Além disso, foi proposto um algoritmo de mapeamento de *threads* que gera mapeamentos de alta qualidade, porém com uma sobrecarga muito mais baixa que o estado-da-arte.

Os mecanismos foram avaliados em três ambientes diferentes: um simulador de sistema completo, uma máquina real com TLB gerida por *software* e duas máquinas reais com TLB gerida por *hardware*. Os mecanismos proveram melhorias substanciais em todos os ambientes, reduzido o tempo de execução em até 39% e melhorando a eficiência energética em até 12,2%. Os resultados obtidos na tese foram melhores que os do estado-da-arte. O custo de implementação em *hardware* é extremamente baixo, representando menos de 0,02% de área de circuito adicional em um processador moderno considerando-se o mecanismo proposto IPM, que possui a melhor relação de custo×benefício entre as propostas.

Pode-se concluir da tese algo muito importante: fabricantes de processadores poderiam aumentar substancialmente o desempenho e eficiência energética de seus sistemas ao integrar no circuito módulos que monitorassem o padrão de acesso à memória, permitindo assim que o sistema operacional realizasse o mapeamento de *threads* e dados usando tais informações de forma *online* e transparente para o usuário.

5. Publicações em Conferências e Periódicos

Diversos artigos foram publicados durante o doutorado em conferências e periódicos de grande importância para as áreas de arquitetura de computadores, sistemas operacionais e processamento paralelo. Os periódicos incluem CSUR, TACO, PARCO, JPDC, CCPE, TPDS, PEVA e IJHPCA. As conferências incluem Euro-Par, CCGRID, PDP, SBAC-PAD, PACT e IPDPS. O artigo publicado no TACO foi também convidado para apresentação na conferência HiPEAC 2017. Em uma das submissões, para a conferência PDP 2015, o artigo recebeu o prêmio de **melhor artigo da conferência**. A ampla variedade de conferências e periódicos de qualidade que aceitaram os trabalhos demonstram a importância da tese e seus trabalhos derivados.

A seguir, a lista de todos os artigos publicados em temas relacionados à tese de doutorado. O Qualis das conferências e periódicos foram incluídos para mostrar a relevância dos mesmos. É importante mencionar que o periódico TACO ainda não foi incluído no Qualis, entretanto, como é um periódico de alta qualidade e seu *h5-index* é 23, ele seria classificado com o Qualis A1 ou A2.

1. Diener, Cruz, Alves, Navaux, Koren. *Affinity-Based Thread and Data Mapping in Shared Memory Systems*. ACM Computing Surveys (CSUR), Volume 49, Issue 4, 2017. **Qualis A1**.
2. Cruz, Diener, Pilla, Navaux. *Hardware-assisted thread and data mapping in hierarchical multicore architectures*. ACM Transactions on Architecture and Code Optimization (TACO) 13, 3, 2016. **h5-index 23 (Qualis aproximado A1 ou A2)**.
3. Cruz, Diener, Pilla, Navaux. *A Sharing-Aware Memory Management Unit for Online Mapping in Multi-Core Architectures*. Euro-Par, 2016. **Qualis A1**.
4. Cruz, Diener, Alves, Pilla, Navaux. *LAPT: A Locality-Aware Page Table for thread and data mapping*. Parallel Computing (PARCO), 2016. **Qualis A2**.
5. Carreño, Diener, Cruz, Navaux. *Automatic Communication Optimization of Parallel Applications in Public Clouds*. IEEE/ACM International Symposium on Cluster, Cloud and Grid Computing (CCGRID), 2016. **Qualis A1**.
6. Diener, Cruz, Alves, Navaux. *Communication in Shared Memory: Concepts, Definitions, and Efficient Detection*. Euromicro International Conference on Parallel, Distributed, and Network-Based Processing (PDP), 2016. **Qualis A2**.
7. Diener, Cruz, Navaux. *Modeling memory access behavior for data mapping*. International Journal of High Performance Computing Applications (IJHPCA), 2016. **Qualis B1**.
8. Cruz, Diener, Navaux. *Communication-Aware Thread Mapping Using the Translation Lookaside Buffer*. Concurrency and Computation: Practice and Experience (CCPE), v. 22, n. 6, 2015. **Qualis A2**.
9. Cruz, Diener, Pilla, Navaux. *An Efficient Algorithm for Communication-Based Task Mapping*. Euromicro International Conference on Parallel, Distributed, and Network-Based Processing (PDP), 2015. (**Prêmio de melhor artigo**). **Qualis A2**.
10. Diener, Cruz, Alves, Navaux, Busse, Heiss. *Kernel-Based Thread and Data Mapping for Improved Memory Affinity*. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems (TPDS), v. 27, 2015. **Qualis A1**.
11. Diener, Cruz, Alves, Alhakeem, Navaux, Heiss. *Locality and Balance for Communication-Aware Thread Mapping in Multicore Systems*. Euro-Par, 2015. **Qualis A1**.

12. Diener, Cruz, Pilla, Dupros, Navaux. *Characterizing Communication and Page Usage of Parallel Applications for Thread and Data Mapping*. Performance Evaluation (PEVA), 2015. **Qualis A2**.
13. Diener, Cruz, Navaux, Busse, Heiss. *Communication-Aware Process and Thread Mapping Using Online Communication Detection*. Parallel Computing (PARCO), 2015. **Qualis A2**.
14. Diener, Cruz, Navaux. *Locality vs. Balance: Exploring Data Mapping Policies on NUMA Systems*. Euromicro International Conference on Parallel, Distributed, and Network-Based Processing (PDP), 2015. **Qualis A2**.
15. Cruz, Diener, Alves, Navaux. *Dynamic thread mapping of shared memory applications by exploiting cache coherence protocols*. Journal of Parallel and Distributed Computing (JPDC), v. 74, n. 3, 2014. **Qualis A2**.
16. Cruz, Diener, Alves, Pilla, Navaux. *Optimizing Memory Locality Using a Locality-Aware Page Table*. International Symposium on Computer Architecture and High Performance Computing (SBAC-PAD), 2014. **Qualis B1**.
17. Diener, Cruz, Navaux, Busse, Heiss. *kMAF: Automatic Kernel-Level Management of Thread and Data Affinity*. International Conference on Parallel Architectures and Compilation Techniques (PACT), August 2014. **Qualis A2**.
18. Diener, Cruz, Navaux. *Communication-Based Mapping using Shared Pages*. IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS), 2013. **Qualis A1**.
19. Cruz, Diener, Navaux. *Using the Translation Lookaside Buffer to Map Threads in Parallel Applications Based on Shared Memory*. IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS), 2012. **Qualis A1**.

Há ainda dois artigos submetidos, um para o periódico **ACM Transactions on Computer Systems (TOCS)**, e outro para o periódico **ACM Transactions on Parallel Computing (TOPC)**.

Referências

- [Borkar and Chien 2011] Borkar, S. and Chien, A. A. (2011). The Future of Microprocessors. *Communications of the ACM*, 54(5):67–77.
- [Broquedis et al. 2010] Broquedis, F., Aumage, O., Goglin, B., Thibault, S., Wacrenier, P.-A., and Namyst, R. (2010). Structuring the execution of OpenMP applications for multicore architectures. In *IEEE International Parallel & Distributed Processing Symposium (IPDPS)*, pages 1–10.
- [Cruz et al. 2011] Cruz, E., Alves, M., Carissimi, A., Navaux, P., Ribeiro, C., and Mehaut, J. (2011). Using memory access traces to map threads and data on hierarchical multi-core platforms. In *IEEE International Symposium on Parallel and Distributed Processing Workshops and Phd Forum (IPDPSW)*.
- [Dashti et al. 2013] Dashti, M., Fedorova, A., Funston, J., Gaud, F., Lachaize, R., Lepers, B., Quéma, V., and Roth, M. (2013). Traffic Management: A Holistic Approach to Memory Placement on NUMA Systems. In *Architectural Support for Programming Languages and Operating Systems (ASPLOS)*, pages 381–393.
- [Feliu et al. 2012] Feliu, J., Sahuquillo, J., Petit, S., and Duato, J. (2012). Understanding Cache Hierarchy Contention in CMPs to Improve Job Scheduling. In *International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS)*.

36º CTIC - Concurso de Trabalhos de Iniciação Científica

Apresentação

O Concurso de Trabalhos de Iniciação Científica (CTIC) é um evento anual da Sociedade Brasileira de Computação que ocorre durante o Congresso da Sociedade Brasileira de Computação (CSBC). O CTIC tem como objetivo incentivar alunos de graduação em Computação/Informática a produzirem textos científicos originais sobre trabalhos realizados por eles, em temas relacionados à área.

Participam do CTIC 2017 estudantes matriculados, ou que tenham sido diplomados após 30 de julho de 2016, em Instituições de Ensino Superior brasileiras. Trabalhos integrantes de projetos tiveram no conteúdo do artigo a identificação, de forma clara, os limites de desenvolvimento, como o trabalho se relaciona às demais atividades do projeto e quais foram efetivamente as ações e a contribuição do aluno de graduação ou grupo de alunos de graduação.

Em sua 36ª edição, o CTIC teve um total de 42 submissões, sendo 9 delas aceitas para publicação, gerando uma taxa de aceitação de 21%. Dentre as 9 submissões aceitas, foram selecionadas para apresentação 3 propostas para fins de premiação. O processo de seleção dos artigos foi realizado em duas etapas. Na primeira etapa, os artigos selecionados foram revisados por, pelo menos, três especialistas.

Os nove primeiros artigos mais bem avaliados, considerando diferentes critérios, foram selecionados para publicação nos Anais do CSBC. Na segunda etapa, foram selecionados três artigos para apresentação oral no CTIC 2017, e premiação. Para fins de premiação, a qualidade da apresentação oral também é considerada. Da mesma forma que em anos anteriores, trabalhos não apresentados no CTIC 2017 não concorrem ao prêmio.

Comitê Organizador

Alex Sandro Roschildt Pinto (UFSC), André Grégio (UFPR), Bernadette Loscio (UFPE), Carina F. Dorneles (UFSC), Carla Merkle Westphall (UFSC), Carlos Soares Neto (UFMA) - Coordenador, Clodoveu Davis (UFMG), Deise Saccol (UFSM), Denio Duarte (UFFS), Edson Lisboa (IFS), Edson Oliveira Jr (UEM), Eduardo Borges (FURG), Elisa Nakagawa (USP), Everton Cavalcante (UFRN), Fabiano Hessel (PUCRS), Francieli Boito (UFSC), Giseli Lopes (UFRJ), Isabela Gasparini (UDESC), João Batista Camargo Jr. (Poli-USP), José David (UFJF), Juliano Wickboldt (UFRGS), Kalinka Castelo Branco (USP), Leandro Buss Becker (UFSC), Leandro Wives (UFRGS), Marcio Castro (UFSC), Marco Wehrmeister (UTFPR), Marcus Vinícius Andrade (UFV), Mario Dantas (UFSC), Mario Teixeira (UFMA), Márcia Cerioli (UFRJ), Mirella Moro (UFMG), Nivan Ferreira (UFPE), Rafael Obelheiro (UDESC), Raimundo Barreto (UFAM), Renata Galante (UFRGS), Rodolfo Azevedo (UNICAMP), Rodrigo Reis (UFPA), Rodrigo Veras (UFPI), Romulo Silva de Oliveira (UFSC), Ronaldo Mello (UFSC), Simone Dantas (UFF)

Trabalhos aceitos

Avaliação de Agregação Temporal na Previsão da Temperatura de Superfície do Mar do Oceano Atlântico

Rebecca Salles, Patricia Mattos, Eduardo Bezerra, Leonardo Lima, Eduardo Ogasawara

Método de Aprendizado Não Supervisionado Baseado no Produto Cartesiano de Rankings para Busca de Imagens

Lucas Pascotti Valem, Daniel Carlos Guimarães Pedronette

NomadiKey: User Authentication for Smart Devices based on Nomadic Keys

Artur Souza, Ítalo Cunha, Leonardo B. Oliveira

Uma Abordagem Baseada em Redes Complexas para Análise de Depoimentos Legais

Thais G. Almeida, Fabíola G. Nakamura, Eduardo F. Nakamura

Como Desenvolvedores Usam Instruções Dinâmicas? Um Estudo em Ruby

Elder Rodrigues Jr, Ricardo Terra

Algoritmo de Eliminações Sucessivas em Níveis baseado na Soma das Diferenças Transformadas Absolutas

Luiz Cancellier, Ismael Seidel, José Luís A. Guntzel

Detecção de Desmatamento Ilegal na Floresta Amazônica Baseada em Processamento de Áudio

Waldomiro J. G. Seabra, Juan G. Colonna, Eduardo F. Nakamura

Prevedo Desempenho dos Candidatos do ENEM Através de Dados Socioeconômicos

Bernardo Stearns, Flavio Rangel, Fabrício Firmino, Fabio Rangel, Jonice Oliveira

Detecção de Comunidades em Redes Sociais: Relacionando o Método Louvain a Medidas de Centralidade

Victoria P. S. Aires, Fabiola G. Nakamura

Detecção de Comunidades em Redes Sociais: Relacionando o Método Louvain a Medidas de Centralidade*

Victoria P. S. Aires, Fabiola G. Nakamura

Instituto de Computação – Universidade Federal do Amazonas (UFAM)
69077-000 – Manaus – AM – Brasil

{vpsa, fabiola}@icomput.ufam.edu.br

Abstract. *In this project, the focus is on algorithms for the problem of detecting communities in social networks, especially the Louvain method. The goal is to relate the method to the concepts of centrality measures in complex networks, proposing their use to modify the greedy criterion of the method and verifying if this change increases the quality of the communities found. We showed that the construction of communities from the less central vertices improved the quality of communities obtained by the method in large and sparse networks, but did not bring significant gains in small and dense networks.*

Resumo. *Neste projeto de iniciação científica, o foco está em algoritmos para o problema de detecção de comunidades em redes sociais, em especial, no método Louvain. O objetivo é relacionar o método aos conceitos de medidas de centralidade em redes complexas, propondo a utilização das mesmas para modificar o critério guloso do método e verificando se esta mudança aumenta a qualidade das comunidades encontradas. Mostramos que a construção de comunidades a partir dos vértices menos centrais melhorou a qualidade das comunidades obtidas pelo método em redes grandes e esparsas, porém, não trouxe ganhos significativos em redes pequenas e densas.*

1. Introdução

A *rede social* de um indivíduo é resultado das interações e relacionamentos do mesmo com outros membros da sociedade [Bedi and Sharma 2016]. Alguns exemplos de redes sociais são aquelas geradas por amizades, interações em uma plataforma virtual como Facebook e Twitter, redes de citação e colaboração de cientistas e interação de personagens em um filme ou obra literária.

Redes sociais são um dos tipos de *redes complexas*. Tais redes são utilizadas para modelar aplicações do mundo real. Elas possuem algumas propriedades, como distribuição do grau dos vértices seguindo a lei de potência, alto coeficiente de agrupamento e estrutura de comunidades bem definida. Estas comunidades, no contexto de redes sociais, são oriundas da tendência de indivíduos similares estarem associados direta ou indiretamente. O processo de descobrir grupos em uma rede é conhecido como *detecção de comunidades*.

A qualidade das comunidades obtidas pelos algoritmos disponíveis na literatura pode ser comparada através da *modularidade*, uma métrica que indica o quanto os elementos de uma comunidade estão conectados. Uma vez que obter a máxima modularidade

* Apoiado pelo Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica - PIBIC (UFAM e FAPEAM).

em uma rede é um problema NP-Difícil [Brandes et al. 2007], são necessários algoritmos heurísticos, como o método Louvain [Blondel et al. 2008]. Este algoritmo possui complexidade $O(m)$, onde m é o número de arestas da rede, e é capaz de identificar comunidades com alta modularidade através de um algoritmo iterativo de duas fases, onde as comunidades são construídas através da avaliação sequencial dos vértices. Porém, este critério é muito simples, não garantindo solução ótima.

Neste projeto de iniciação científica, o objetivo é estudar o impacto que uma solução gulosa aliada a métricas de redes complexas tem na qualidade das comunidades encontradas pelo método Louvain. Para isso, modificamos o critério para construção de comunidades: os vértices são avaliados segundo as *medidas de centralidade* dos mesmos. Estas indicam quais os vértices mais influentes ou centrais da rede segundo algum critério. Observamos que esta modificação tem efeito positivo em redes sociais grandes e esparsas, quando as comunidades são construídas a partir dos vértices menos centrais.

O restante do artigo está organizado da seguinte forma: a Seção 2 contém os fundamentos teóricos utilizados para o desenvolvimento do trabalho. A Seção 3 apresenta alguns algoritmos para o problema de detecção de comunidades em redes sociais. A Seção 4 descreve como foi feita a alteração no método Louvain, proposta neste trabalho. A Seção 5 traz os resultados obtidos e, por fim, a Seção 6 contém as considerações finais do artigo, seguida das referências.

2. Fundamentação teórica

Nesta seção, serão descritos os conceitos de redes complexas, medidas de centralidade e redes sociais, fundamentos teóricos que foram necessários para o desenvolvimento deste trabalho.

2.1. Redes complexas

Na natureza e sociedade existe uma variedade de sistemas complexos que podem ser modelados através de redes. Estes fenômenos incluem redes de telecomunicações, relações sociais, a *World Wide Web* e a Internet, entre outros exemplos.

Uma abordagem inicial para descrever as redes do mundo real são as *redes aleatórias*. Neste tipo de redes, um conjunto com n vértices é conectado por um número fixo de *links* (ou arestas) de maneira completamente aleatória. A distribuição do grau dos vértices segue uma distribuição de Poisson. Porém, a grande maioria de aplicações do mundo real não tem o comportamento aleatório descrito, com todos os vértices tendo igual probabilidade de estarem conectados: elas apresentam diferentes regras para conexão entre os vértices e crescimento. Em muitos casos, a distribuição de grau segue a lei da potência, sem nenhuma característica de escala [Dehmer and Emmert-Streib 2009]. Este fato levou à criação do conceito de *redes livres de escala*, também chamadas de *redes complexas*. A Figura 1 apresenta exemplos de distribuições de grau em redes aleatórias e redes livres de escala.

Redes complexas possuem propriedade de *small-world*, onde os vértices são separados por distâncias pequenas e possuem a característica de serem altamente conectados [Hofstad 2016]. Isto significa que há tendência a apresentar um alto coeficiente de agrupamento, levando à formação de *clusters* ou comunidades. Assim, define-se que redes complexas possuem as seguintes propriedades [Shen 2013]:

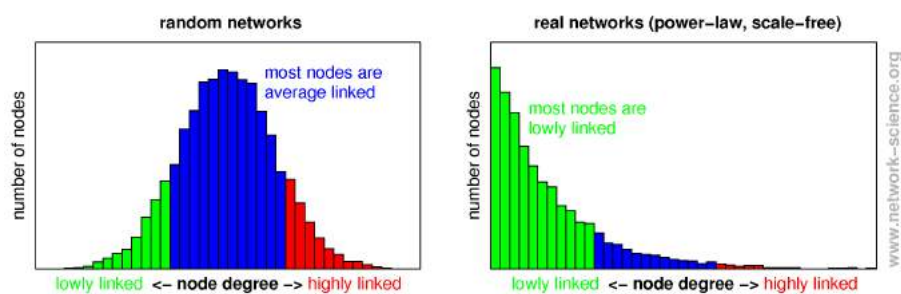


Figura 1. Exemplos de distribuições de grau dos nós de uma rede. À esquerda, em redes aleatórias e ao lado, em redes livres de escala. Na primeira, a distribuição dos graus segue uma distribuição de Poisson, enquanto na segunda, segue a lei de potência [Scholz 2009].

- distribuição de grau dos nós seguindo a lei de potência (*power-law degree*);
- características de mundo pequeno (*small-world*);
- alto coeficiente de agrupamento e estrutura de comunidades.

Em uma rede complexa, alguns nós possuem maiores valores de centralidade que os demais, sendo considerados mais influentes ou importantes. Para mensurar o quanto um nó é central na rede, são utilizadas *medidas de centralidade*. Neste trabalho, focamos nas seguintes métricas:

- Centralidade de grau ponderado (*weighted degree centrality*): a métrica mais simples, trata-se basicamente do grau de cada vértice, levando em consideração os pesos em grafos ponderados. Segundo esta medida, a centralidade de um nó é dada pelo seu número de conexões [Perra and Fortunato 2008].
- Centralidade de intermediação (*betweenness centrality*): esta métrica indica, dado um vértice, quantos caminhos mínimos entre dois nós quaisquer passam por ele. Um nó que possui alta intermediação funciona como ponte na rede, pois conecta vários elementos, adquirindo maior importância na rede [Dehmer and Emmert-Streib 2009].
- Centralidade de proximidade (*closeness centrality*): esta métrica é obtida ao computar o inverso do comprimento médio dos caminhos mínimos entre um dado nó e todos os demais na rede. Quanto maior a proximidade, mais central é o nó, por estar mais próximo em média do restante da rede [Motta et al. 2009].

2.2. Redes sociais

As *redes sociais* nasceram na Sociologia [Scott and Carrington 2011], porém, com o advento da internet e dos avanços na computação, tornou-se possível coletar um grande número de dados do mundo real para serem analisados e processados. Uma rede social é um tipo de rede complexa, ou seja, possui as propriedades características de redes complexas, como *power-law degree*, propriedade de *small-world* e estrutura de comunidades.

Assim como em outros tipos de redes complexas, uma rede social é formada por entidades e relacionamentos. Neste contexto, as entidades podem ser pessoas, instituições, *web sites* e os relacionamentos podem indicar amizade, trabalho, colaboração e outros tipos de interação social. Além disso, estes relacionamentos podem ser recíprocos ou não [Öztürk 2014].

Alguns exemplos de redes sociais da vida real incluem redes com base em amizade, telefone, e-mail, e redes de colaboração e citação de cientistas. Representar tais redes como grafos permite a extração de informações relevantes sobre a relação que ela modela, através do estudo e análise das propriedades das mesmas, possuindo um grande potencial para aplicações úteis, como sistemas de recomendação.

3. Algoritmos para detecção de comunidades

Uma *comunidade* pode ser definida como um grupo de entidades mais próximas entre si em comparação com as outras na rede [Bedi and Sharma 2016]. Em outras palavras, uma comunidade é formada por indivíduos que interagem mais frequentemente uns com os outros do que com aqueles que estão fora do grupo.

Nesta seção são apresentados alguns dos principais algoritmos para o problema de detecção de comunidades, baseados no conceito de modularidade: Girvan-Newman [Girvan and Newman 2002], Clauset, Newman e Moore [Clauset et al. 2004] e método Louvain [Blondel et al. 2008].

3.1. Introdução à modularidade

Em geral, quando um método de detecção de comunidades é aplicado em uma base de dados do mundo real, as comunidades ainda não são conhecidas. Logo, uma questão importante é de que forma a qualidade das comunidades encontradas pode ser avaliada.

A *modularidade* é uma medida proposta por Girvan e Newman [Girvan and Newman 2002] e amplamente aceita como a única medida para avaliar a qualidade de comunidades. O cálculo da modularidade é mostrado na equação 1.

$$Q = \sum_i (e_{ii} - a_i^2) \quad (1)$$

Na equação 1, i representa uma comunidade, e_{ii} é a fração de arestas que estão inteiramente na comunidade i e a_i é a fração de arestas que possuem pelo menos um extremo na comunidade i . A modularidade assume um valor entre -1 e 1 . Quanto mais próximo de 1 , melhores são as estruturas de comunidades encontradas.

O problema de determinar a máxima modularidade é NP-Difícil [Brandes et al. 2007], ou seja, este problema pertence a uma classe de problemas (que podem ser de decisão ou otimização) para os quais não se conhece solução em tempo polinomial.

3.2. Algoritmo de Girvan-Newman

O *algoritmo Girvan-Newman (GN)* [Girvan and Newman 2002] é um algoritmo divisivo (arestas são progressivamente removidas) e tem sua base no conceito de *edge-betweenness* para um grafo não direcionado e não ponderado. O foco do algoritmo está nas arestas que estão mais “entre” (em inglês, “*between*”) as comunidades. O *betweenness* de uma aresta é calculado através do número de caminhos mínimos entre pares de vértices que utilizam aquela aresta. As comunidades são reveladas por meio da progressiva remoção das arestas de maior *betweenness* do grafo original, ou seja, através da remoção das arestas que estão entre as comunidades. Os passos do algoritmo são os seguintes:

1. Calcular o *betweenness* para todas as arestas da rede.
2. Remover da rede a aresta com o maior *betweenness*.
3. Recalcular o *betweenness* para todas as arestas que foram afetadas pela remoção.
4. Voltar ao passo 2 até que não existam mais arestas.

O resultado final é um dendrograma (árvore hierárquica) construído na abordagem *top-down*: inicia com uma comunidade geral, que é a rede original, e vai crescendo com a sucessiva remoção de conexões entre as comunidades, até as folhas, que são nós individuais. O algoritmo possui tempo de execução $O(n^3)$ no pior caso para grafos esparsos e $O(m^2n)$ para grafos densos, onde n é o número de vértices e m , o número de arestas. Apesar de apresentar um tempo de execução razoável, o algoritmo foi estudado e melhorado por diversos autores devido a sua dificuldade de se adaptar a redes muito grandes, ou seja, a escalabilidade é um problema deste método.

3.3. Algoritmo de Clauset, Newman e Moore

O algoritmo proposto por Clauset, Newman e Moore [Clauset et al. 2004] também utiliza a modularidade Q proposta por Girvan e Newman [Girvan and Newman 2002] como uma medida para otimizar a estrutura de comunidades. Trata-se de um método aglomerativo, isto é, constrói comunidades segundo a abordagem *bottom-up*: os nós são iterativamente agrupados em comunidades.

O algoritmo CNM funciona da seguinte forma: inicialmente cada vértice constitui por si uma comunidade (ou seja, há n comunidades). As comunidades são unidas em pares repetidamente, escolhendo a cada passo a junção que resulta no maior ganho ou na menor perda de Q . Ao final é produzido um dendrograma, revelando a estrutura de comunidades identificada.

O tempo de execução em uma rede com n vértices e m arestas é $O(md \log n)$, onde d é a profundidade do dendrograma. A maioria das redes do mundo real são esparsas e hierárquicas, com $m \approx n$ e $d \approx \log n$, caso em que a complexidade do algoritmo é $O(n \log^2 n)$. Como limitações, apesar de sua complexidade mostrar-se menor que os demais no caso médio, seu desempenho depende muito da rede dada como entrada: em um grafo denso, $m \approx n^2$, o que elevaria o tempo de execução neste caso.

3.4. Método Louvain

O método Louvain é um algoritmo heurístico baseado em otimização da modularidade Q [Blondel et al. 2008]. Também é um método de natureza aglomerativa. Assumindo que a entrada é uma rede ponderada com n vértices, o funcionamento do método é dividido em duas fases.

Na primeira fase, cada vértice é considerado uma comunidade. Após, para cada vértice i , considera-se cada um de seus j vizinhos e avalia-se o ganho de modularidade que ocorreria se o vértice i fosse removido de sua comunidade e colocado na comunidade de j . Ao final da avaliação em todos os vizinhos, o vértice i é colocado na comunidade onde o ganho é máximo, mas apenas se o ganho é positivo. Se não for, o vértice permanece em sua comunidade. Este processo se repete até que nenhum indivíduo possa melhorar a modularidade.

A segunda fase consiste em construir uma nova rede onde os vértices são as comunidades encontradas na primeira fase. Para isto, os pesos das conexões entre os novos

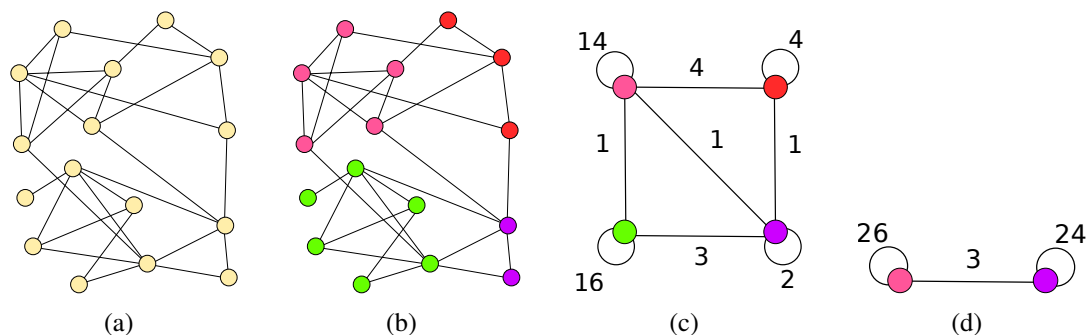


Figura 2. Exemplo de execução do método Louvain. Em 2(a), rede original. Em 2(b), após passar pela primeira fase, com as comunidades identificadas. Em 2(c), a nova rede construída na segunda etapa. Por fim, em 2(d) a rede obtida após a repetição da primeira e segunda fase na rede obtida em 2(c).

vértices são dados pela soma dos pesos das arestas entre vértices nas duas comunidades correspondentes. Conexões entre vértices na mesma comunidade tornam-se laços nesta comunidade na nova rede. A Figura 2 apresenta um exemplo destes passos em uma rede de entrada. Uma vez que a segunda fase esteja concluída, a primeira fase é reaplicada na nova rede. Cada execução de primeira e segunda fases é chamada de passo. Os passos prosseguem até que não ocorram mais mudanças e a máxima modularidade seja obtida.

Este método tem complexidade $O(m)$, onde m é o número de arestas. Isto significa que o método é linear, conseguindo um bom desempenho em redes de tamanhos variados. Além disso, o método obtém melhores valores de modularidade em comparação aos obtidos pelos algoritmos GN e CMN.

4. Proposta de alteração no método Louvain

O método Louvain possui vantagens interessantes sobre os outros métodos, como seu tempo de execução linear e comunidades com maior qualidade, de acordo com os valores de modularidade obtidos em comparação aos demais algoritmos. Porém, observamos que as comunidades são construídas de acordo com um critério muito simples: os vértices são analisados sequencialmente, ou seja, seguindo a ordem definida pelos rótulos dos vértices, de 0 a $n - 1$.

Sendo o Louvain um método adequado para encontrar comunidades em redes complexas, desenvolvemos uma modificação, buscando aliar o mecanismo guloso aos conceitos de medidas de centralidade. Esta modificação ocorre apenas na primeira fase do método, e altera a ordem dos vértices a serem analisados quando as comunidades estão sendo construídas. O objetivo é verificar o impacto que a escolha do critério para o método guloso possui na modularidade final obtida.

As métricas de centralidade escolhidas foram *weighted degree* (grau ponderado), *betweenness* (intermediação) e *closeness* (proximidade), uma vez que quantificam, de maneira complementar, a conectividade de cada vértice ao resto da rede. O *weighted degree* é uma métrica local dos vértices uma vez que leva em consideração apenas seus vizinhos, retratando as interações entre estes vértices. O *betweenness* e o *closeness* avaliam cada vértice a partir de uma visão global de rede. Em função destas características achamos interessante explorar como estas métricas poderiam ser integradas ao processo de formação

de comunidades.

Antes de iniciar a análise da primeira fase, as medidas de centralidade de todos os vértices da rede são calculadas e ordenadas. Após, a execução do método prossegue normalmente, porém, em lugar de analisar os vértices sequencialmente, a análise ocorre seguindo a ordem obtida a partir das medidas de centralidade. A segunda fase do método não sofreu alterações.

5. Resultados obtidos

Para observar os resultados, realizamos experimentos modificando uma implementação em Python do método Louvain [Odent and Saint-Guillain 2012], utilizando Python 3.5.2. As bases de dados utilizadas durante os testes foram as seguintes redes sociais:

- Arxiv e Hep-th-citations [Gehrke et al. 2003]: rede de citações entre cientistas no *journal Arxiv High Energy Physics*. A primeira possui 9377 vértices e 48214 arestas e a segunda, 27770 vértices e 352807 arestas.
- Facebook-ego [Leskovec and McAuley 2012]: rede social de amizades no Facebook, coletada a partir da rede pessoal de alguns participantes anônimos. Possui 4039 vértices e 88234 arestas.
- *Zachary's karate club* [Zachary 1977]: rede de amizade entre 34 membros de um clube de karatê em uma universidade americana. Possui 34 vértices e 77 arestas.
- Os Miseráveis [Knuth 1993]: rede de coaparência dos personagens da obra literária *Os Miseráveis*. Possui 77 vértices e 254 arestas.

Os experimentos ocorreram da seguinte forma: cada medida de centralidade (*weighted degree*, *betweenness* e *closeness*) foi testada individualmente nas bases de dados. Além disso, para cada uma das medidas, na primeira execução os vértices foram ordenados em ordem crescente (do menor valor da medida para o maior), e na segunda, em ordem decrescente (do maior valor da medida para o menor). A Tabela 1 apresenta os valores de modularidade obtidos em cada teste e a Figura 3 apresenta o ganho que cada critério aliado às medidas de centralidade obteve em relação ao algoritmo original.

Tabela 1. Modularidade obtida originalmente e após as modificações no método Louvain em cada base de dados, destacada por cores. Em negrito, os melhores valores de modularidade obtidos.

	Arxiv	Hep-th-citations	Facebook-ego	Karate	Os miseráveis
Original	0,81431774	0,65047117	0,83481924	0,4298364	0,55555211
Weighted degree crescente	0,81422133	0,65468872	0,83544190	0,42983640	0,55552111
Weighted degree decrescente	0,81397961	0,64838742	0,83376415	0,42983640	0,55827237
Betweenness crescente	0,81470074	0,65497587	0,83493780	0,42983640	0,55827237
Betweenness decrescente	0,81466182	0,64465661	0,83455295	0,42983640	0,55827237
Closeness crescente	0,81438528	0,65491286	0,83546865	0,42696913	0,55553661
Closeness decrescente	0,81551700	0,63228495	0,83393666	0,42983640	0,55827237

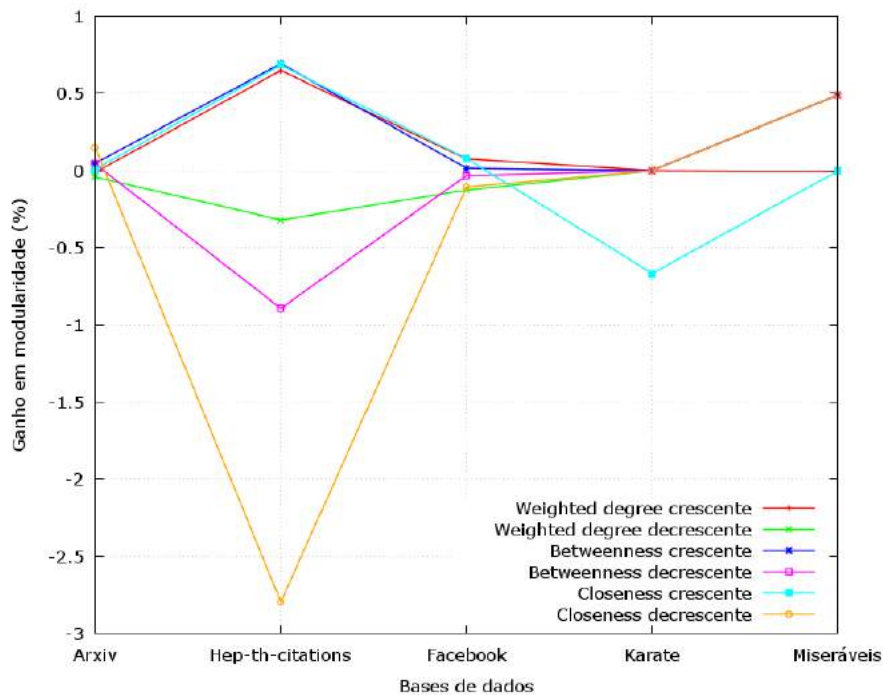


Figura 3. Ganho na modularidade obtido por cada critério através das medidas de centralidade em ordem crescente e decrescente.

Podemos observar que as alterações ocasionaram tanto valores melhores quanto piores em modularidade. Na menor e mais densa rede (Karatê), o uso dos critérios não alterou a modularidade obtida em quase todos os casos. Em Os Miseráveis (segunda menor rede), o uso das métricas trouxe melhoria, mas várias empataram no valor obtido. Este fato indica que a solução gulosa proposta possui melhor resultado em redes maiores e mais esparsas, pois em redes onde os vértices são altamente conectados, eles tendem a obter medidas de centralidade muito semelhantes.

Analisando os resultados obtidos para as três redes mais esparsas (Arxiv, Hep-th-citations e Facebook-ego) através da Figura 3, percebe-se que as estratégias de ordenação por meio das métricas *weighted degree*, *betweenness* e *closeness* em ordem decrescente levaram à perda em relação ao algoritmo original. Por outro lado, quando as métricas foram usadas em ordem crescente, houve ganho de modularidade. Este resultado indica que é uma boa estratégia classificar os vértices mais periféricos primeiro, evitando que os mesmos fiquem isolados, formando comunidades muito pequenas.

Podemos observar um indício deste resultado ao analisar o caso da métrica *betweenness*. Quando utilizada para ordenar os vértices de modo crescente, houve melhoria na modularidade de todas as redes testadas. Uma vez que esta métrica indica o quanto o vértice funciona para interligar os demais vértices na rede, vértices com alto *betweenness* são aqueles mais entre as comunidades, chamados vértices de fronteira.

De modo semelhante, a métrica *closeness* trouxe ganho de modularidade nas redes maiores ao ordenar os vértices crescentemente. Esta métrica aponta o quanto os vértices estão próximos aos demais vértices da rede. De forma similar ao *betweenness*, esta métrica classifica como mais centrais aqueles que estão nas fronteiras entre as comunidades.

Observando o resultado das duas métricas, que indicam a importância dos vértices em um contexto global, percebe-se que analisar primeiro os vértices mais periféricos leva à construção das comunidades em torno dos vértices de fronteira, aumentando a qualidade da solução. Já a métrica *weighted degree* denota a importância local do vértice na rede, ou seja, na sua própria comunidade. Utilizar a métrica para ordenar os vértices em ordem crescente trouxe resultado positivo em duas das três redes maiores, indicando que, mesmo no contexto local, analisar os vértices periféricos primeiro traz ganhos em qualidade das comunidades encontradas.

Portanto, os resultados indicam que o uso das medidas de centralidade trouxe benefícios para a solução gulosa do método Louvain em redes grandes e esparsas, ao utilizar a estratégia de construir comunidades a partir dos vértices mais periféricos. Por outro lado, a estratégia pode não ser promissora em redes pequenas e muito densas, pois nestas redes os vértices são muito conectados, tornando suas medidas de centralidade muito semelhantes.

6. Considerações finais

Neste projeto de iniciação científica, o foco esteve no estudo de algoritmos para o problema de detecção de comunidades em redes sociais, mais especificamente, no método Louvain, que utiliza heurística gulosa e é mais eficiente em tempo de execução e em modularidade das comunidades encontradas, em comparação a outros algoritmos da literatura.

O objetivo foi aliar os conceitos de medidas de centralidade em redes complexas ao método Louvain. Para isto, alteramos o critério do algoritmo de construção das comunidades, fazendo com que os vértices fossem analisados de acordo com suas medidas de centralidade, em ordem crescente e decrescente de *weighted degree*, *betweenness* e *closeness centrality*.

Descrevemos neste trabalho o impacto que estas modificações trouxeram em termos de modularidade obtida pelo algoritmo. Durante nossos experimentos, observamos que ordenar os vértices de acordo com as medidas, da menor pontuação para a maior, leva à construção de comunidades com mais qualidade, pois os vértices mais periféricos vão sendo progressivamente agrupados aos mais centrais, evitando vértices isolados e comunidades muito pequenas. Além disso, os resultados indicam que estas modificações possuem maior eficiência em redes esparsas, pois nelas as medidas de centralidade de cada vértice são mais variáveis.

Como trabalhos futuros, pretendemos fazer uso de mais de uma métrica para o critério guloso, verificando se esta mudança possui alguma influência na qualidade das comunidades encontradas pelo método Louvain. Temos interesse em verificar o impacto da geração de várias ordenações aleatórias no desempenho do algoritmo, analisando o melhor resultado e buscando relacioná-lo às medidas de centralidade. Por fim, pretendemos também analisar a relação dos resultados obtidos com outras características estruturais da rede, como o coeficiente de agrupamento global e local.

Referências

Bedi, P. and Sharma, C. (2016). Community detection in social networks. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery*, 6(3):115–135.

- Blondel, V. D., Guillaume, J.-L., Lambiotte, R., and Lefebvre, E. (2008). Fast unfolding of communities in large networks. *Journal of statistical mechanics: theory and experiment*, 2008(10):P10008.
- Brandes, U., Delling, D., Gaertler, M., Görke, R., Hoefer, M., Nikoloski, Z., and Wagner, D. (2007). On finding graph clusterings with maximum modularity. In *International Workshop on Graph-Theoretic Concepts in Computer Science*, pages 121–132. Springer.
- Clauset, A., Newman, M. E., and Moore, C. (2004). Finding community structure in very large networks. *Physical review E*, 70(6):066111.
- Dehmer, M. and Emmert-Streib, F. (2009). *Analysis of complex networks: from biology to linguistics*. John Wiley & Sons.
- Gehrke, J., Ginsparg, P., and Kleinberg, J. (2003). Overview of the 2003 kdd cup. *ACM SIGKDD Explorations Newsletter*, 5(2):149–151.
- Girvan, M. and Newman, M. E. (2002). Community structure in social and biological networks. *Proceedings of the national academy of sciences*, 99(12):7821–7826.
- Hofstad, R. V. D. (2016). *Random graphs and complex networks*, volume 1. Cambridge University Press.
- Knuth, D. E. (1993). *The Stanford GraphBase: a platform for combinatorial computing*, volume 37. Addison-Wesley Reading.
- Leskovec, J. and McAuley, J. J. (2012). Learning to discover social circles in ego networks. In *Advances in neural information processing systems*, pages 539–547.
- Motta, R., de Alneu Andrade Lopes, and de Oliveira, M. C. F. (2009). Centrality measures from complex networks in active learning. In *International Conference on Discovery Science*, pages 184–196. Springer.
- Odent, J. and Saint-Guillain, M. (2012). Automatic detection of community structure in networks. Technical report, Université catholique de Louvain.
- Öztürk, K. (2014). *Community detection in social networks*. PhD thesis, Middle East Technical University.
- Perra, N. and Fortunato, S. (2008). Spectral centrality measures in complex networks. *Physical Review E*, 78(3):036107.
- Scholz, M. (2009). Node degree distribution. Disponível em: www.network-science.org/powerlaw_scalefree_node_degree_distribution.html. Acessado em: 01/2017.
- Scott, J. and Carrington, P. J. (2011). *The SAGE handbook of social network analysis*. SAGE publications.
- Shen, H.-W. (2013). *Community structure of complex networks*. Springer Science & Business Media.
- Zachary, W. W. (1977). An information flow model for conflict and fission in small groups. *Journal of anthropological research*, 33(4):452–473.

Avaliação de Agregação Temporal na Previsão da Temperatura de Superfície do Mar do Oceano Atlântico

Rebecca Salles, Patricia Mattos, Eduardo Bezerra,
Leonardo Lima, Eduardo Ogasawara

Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (CEFET/RJ)
Rio de Janeiro, RJ – Brasil

rebeccapsalles@acm.org, {ebezerra, leolima}@cefet-rj.br, eogasawara@ieee.org

Abstract. *Extreme environmental events such as droughts affect millions of people all around the world. Its prediction enables the mitigation of eventual damages caused by its occurrence. An important variable for identifying occurrences of droughts is the Sea Surface Temperature (SST). In the Tropical Atlantic Ocean, SST data are collected and provided by the PIRATA Project, which is an observation network composed of sensor buoys arranged in this region. Sensors of this type, such as Internet of Things (IoT) sensors, commonly fails, leading to data losses that influence the quality of datasets collected for adjusting prediction models. In this paper, we explore the influence of temporal aggregation in predicting step-ahead SST considering different prediction horizons and different sizes for training datasets. Our results point out scenarios for training datasets and prediction horizons indicating whether or not temporal aggregated SST time series may be beneficial for prediction.*

Resumo. *Eventos ambientais extremos como secas afetam milhões de pessoas em todo o mundo. A sua previsão permite a mitigação de eventuais danos causados por sua ocorrência. Uma variável importante para a identificação de ocorrências de secas é a Temperatura da Superfície do Mar (TSM). No Oceano Atlântico Tropical, dados de TSM são coletados e fornecidos pelo projeto PIRATA, que é uma rede de observação composta por boias com sensores dispostas nesta região. Sensores deste tipo, assim como sensores relacionados a Internet das Coisas (IoT), comumente falham, levando a perda de dados que influencia a qualidade dos conjuntos de dados coletados para o ajustamento de modelos de previsão. Neste contexto, esta pesquisa explora a influência da agregação temporal na previsão de horizontes à frente de TSM considerando diferentes horizontes de previsão e diferentes tamanhos dos conjuntos de dados de treino. Os resultados obtidos apontam cenários para conjuntos de treino e horizontes de previsão indicando se séries temporais agregadas de TSM podem ser vantajosas para a previsão.*

1. Introdução

Há evidências na literatura que apontam para o relacionamento entre as temperaturas da superfície do mar do oceano Atlântico sudoeste tropical (TSM) e a ocorrência de eventos climáticos extremos no nordeste do Brasil [Cho et al. 2010]. Entre tais eventos, as secas são muito relevantes por causa do seu impacto econômico. As causas para as secas severas

foram estudadas por um longo tempo e atualmente entende-se que os principais fatores que contribuem para a sua ocorrência estão relacionados a TSM, incluindo a oscilação sul do El Niño (OSEN) e a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) [Durand et al. 2005]. É estimado que 32.8 milhões de pessoas foram afetadas pela seca nos últimos trinta anos, o que levou a uma perda de aproximadamente R\$2.4 bilhões para o país [EM-DAT 2016].

A pesquisa tem por objetivo contribuir para o monitoramento das séries temporais da TSM do Atlântico Sul e a construção de um modelo de maior precisão de sua evolução com o intuito de colaborar para a redução, na medida do possível, da vulnerabilidade da sociedade diante de eventos extremos. Embora haja muitos trabalhos que focam o estudo e previsão de curto prazo da TSM [Hertig e Jacobeit 2010], o objetivo desta pesquisa é analisar as vantagens de diferentes técnicas para a previsão de TSM com diferentes horizontes de previsão e diferentes tamanhos do conjunto de dados de treinamento, que se torna particularmente importante quando dados são coletados por sensores (sensores de IoT) onde dados faltantes podem interferir nos tamanhos dos conjuntos de dados de treino [Perera et al. 2014].

Nesta pesquisa, especial atenção é atribuída às chamadas técnicas de pré-processamento de dados, principalmente a agregação temporal. Apesar dos efeitos da agregação temporal na previsão de séries temporais serem extensivamente abordados na literatura [Tiao 1972, Wei 2005], as pesquisas mostraram que as vantagens da agregação temporal estão fortemente ligadas às propriedades estatísticas das séries temporais básicas (não-agregadas) disponíveis, como estacionariedade, autocorrelação e sazonalidade. Entretanto, análises estatísticas demonstraram considerável diversidade em tais propriedades nas séries temporais de TSM, cenário que impossibilita o uso direto de conhecimento prévio quanto a influência da agregação temporal.

Os efeitos das agregações temporais foram avaliados utilizando-se os modelos lineares: Modelos Autorregressivos Integrados de Médias Móveis (ARIMA) [Gujarati 2002] e o modelo *Random Walk*, utilizado como base de referência para se analisar os resultados experimentais obtidos. Ambos ARIMA e *Random Walk* são modelos estatísticos interpretáveis e bem-estabelecidos. Conjuntos de dados contendo séries temporais diárias de TSM obtidas *online* a partir do sítio do projeto *Prediction and Research Moored Array in the Tropical Atlantic* (PIRATA) [GOOS-Brasil 2015] foram utilizados durante a avaliação experimental. Os resultados indicam que a previsão usando séries temporais de TSM agregadas leva a previsões mais precisas em horizontes de longo prazo de acordo com várias medidas de precisão. Além disso, os experimentos mostram que os benefícios da aplicação de agregação temporal são influenciados pelo horizonte de previsão e também pelo tamanho do conjunto de dados de treinamento.

Além desta introdução, esta pesquisa está organizada em mais seis seções. A Seção 2 apresenta uma contextualização da pesquisa. A Seção 3 apresenta uma base teórica de previsão de séries temporais e de agregação temporal. A Seção 4 apresenta a metodologia de previsão aplicada nesta pesquisa. A Seção 5 apresenta as configurações e resultados da avaliação experimental. Finalmente, a Seção 6 apresenta as conclusões.

2. Contexto da Pesquisa

Esta pesquisa teve como ponto de partida a dissertação de mestrado de Patrícia Mattos, formada pelo CEFET/RJ, que resultou na publicação de um artigo nos anais do congresso

IX *Brazilian e-Science Workshop* (BreSci) [Teixeira et al. 2015]. O trabalho apontava que a aplicação da agregação temporal deveria ser considerada na previsão de TSM. O trabalho se baseava em dados também do PIRATA, mas que haviam sido coletados de uma única boia. Por conta disso a análise foi feita com um número limitado de conjuntos de treinamento e avaliados em horizontes de previsão restritos. Esta pesquisa, entretanto, estende os resultados obtidos, visando avaliar as condições em que a agregação temporal traz benefícios para a previsão de TSM com diferentes horizontes de previsão e diferentes quantidades de dados disponíveis para treinamento, os quais foram coletados de várias boias em diferentes posições geográficas, apresentando propriedades estatísticas diversas e observando que nem sempre a agregação temporal é vantajosa. Tal avaliação gerou quase 99.000 resultados de previsão analisados comparativamente. Esta pesquisa produziu um artigo científico publicado no periódico *Ecological Informatics* [Salles et al. 2016], tendo a aluna Rebecca Salles como autora principal, sob orientação do professor Eduardo Ogasawara, e com colaboração de Patrícia Mattos, Ana-Maria Iorgulescu e dos professores Eduardo Bezerra e Leonardo Lima.

Além disso, foram realizados estudos complementares sobre o desempenho de modelos lineares para a previsão e imputação de séries temporais frente a métodos de aprendizado de máquina. Os estudos foram de auxílio na escolha dos métodos de previsão aplicados, assim como na análise da possibilidade de preenchimento de observações faltantes nas séries de TSM. Neste contexto, a aluna Rebecca Salles desenvolveu o pacote *TSPred* [Salles e Ogasawara 2015] de funções R para ajustamento otimizado e previsão de séries temporais com modelos lineares. Estes estudos culminaram na produção de 2 artigos científicos, publicados nos anais do XXX Simpósio Brasileiro de Banco de Dados (SBBD) [Salles et al. 2015], onde o trabalho foi apresentado por Rebecca Salles, e nos anais do *International Joint Conference on Neural Networks* (IJCNN) [Salles et al. 2017]. Ambos os artigos têm Rebecca Salles como autora principal.

3. Séries Temporais e a Agregação Temporal

3.1. Modelagem de Séries Temporais

Uma série temporal x_t é uma sequência $\langle x_1, x_2, x_3, \dots, x_n \rangle$ de observações de um fenômeno de interesse coletadas ao longo do tempo, tal que x_1 corresponde ao valor da primeira (mais antiga) observação, enquanto x_n é a última (mais recente) delas. O comprimento n de uma série temporal x_t é representado como $|x_t| = n$.

A maioria dos trabalhos com séries temporais assume a estacionariedade, em que propriedades estatísticas não mudam ao longo do tempo. Se essa restrição não for atendida, a série temporal é classificada como não-estacionária. Este é o caso para a maioria das séries temporais encontradas em aplicações reais [Gujarati 2002].

Um objetivo comum para se ajustar/treinar modelos matemáticos para que reflitam uma série temporal x_t é a obtenção de previsões precisas de valores futuros de x_t baseadas em dados coletados previamente [Shumway e Stoffer 2010]. Um dos métodos lineares mais importantes de previsão de séries temporais é a classe de modelos ARIMA [Gujarati 2002]. Modelos ARIMA(p, d, q) são derivados de uma composição dos processos de modelagem autorregressivo (AR) e de média móvel (MA) (respectivamente representados por p e q) com um processo de diferenciação preliminar adicional (I) (representado por d), desenvolvidos para lidar com não-estacionariedade [Gujarati 2002].

Em muitas situações, encontra-se séries temporais que parecem se comportar de forma aleatória ao longo do tempo. Neste caso, um modelo muito útil para se estimar tal série temporal é o *Random Walk* com desvio (*drift*), no qual o valor de uma série temporal x_t em um instante t é basicamente explicado pelo valor da série no instante $t - 1$ mais um movimento completamente aleatório. O modelo *Random Walk* pode também ser expressado como um modelo ARIMA(0, 1, 0), [Shumway e Stoffer 2010].

3.2. Agregação Temporal de Séries Temporais

Seja x_t uma série temporal cujas observações são coletadas em intervalos de tempo equidistantes, por exemplo, a TSM diária do Atlântico. Neste caso, é frequentemente interessante a previsão não das observações diárias subsequentes mas de um próximo período semanal ou mensal de temperaturas médias, que são agregações temporais dos dados diários [Tiao 1972]. Considerando x_t como uma entrada, uma série temporal agregada não-sobreposta de período m , X_T , é definida na Equação 1, onde X_T é a série temporal agregada e m corresponde às agregações de x_t de período m , *i.e.*, a ordem de agregação. Assim, no exemplo anterior, t representa a unidade de tempo de dia e se m é 7 ou 30, então X_T é respectivamente uma série temporal de médias aritméticas semanais ou mensais de x_t [Wei 2005].

$$X_T = \sum_{t=m(T-1)+1}^{mT} \frac{x_t}{m} = \frac{(1 + B + \dots + B^{m-1})x_{mT}}{m} \quad (1)$$

Se x_t é uma série temporal de frequência mais alta e X_T é a série agregada temporalmente (de frequência mais baixa), a previsão das próximas observações de X_T pode seguir duas diferentes abordagens: (i) agrega-se as previsões de x_t ou (ii) prevê-se diretamente com os dados de X_T .

4. Metodologia de Previsão de TSM

A metodologia aqui apresentada possibilita a avaliação da técnica de agregação temporal para a previsão de TSM do Oceano Atlântico. Assume-se a disponibilidade de várias instâncias de conjuntos de observações de séries temporais de treino e de teste de alta frequência (séries temporais diárias). Esta pesquisa se baseia na previsão de X_{T+j} ($j = 1, \dots, N$), para uma série temporal agregada correspondente (semanal e mensal), para permitir a previsão de ambos curto e longo prazo. Mais especificamente, pretende-se obter 52 e 12 passos a frente de séries temporais agregadas semanalmente e mensalmente, respectivamente, prevendo-se assim 12 meses (1 ano) a frente. Com este propósito, define-se $N = 365/m_w$ com $m_w = 7$ e $N = 365/m_m$ com $m_m = 30$, respectivamente para séries temporais agregadas semanais e mensais.

Daqui por diante adotam-se duas abordagens diferentes para a previsão das agregações temporais desejadas (semanais e mensais), referenciadas como *PrePred* e *PostPred*. Na Tabela 1 são descritos os parâmetros e notações da metodologia desta pesquisa. No Algoritmo *PrePred* e no Algoritmo *PostPred* os conceitos gerais de ambas abordagens são apresentadas.

Na primeira abordagem, *PrePred*, representada pelo Algoritmo *PrePred*, o parâmetro $k = 1$ indica que o modelo ARIMA será ativado e $k = 0$ indica que o *Random*

Tabela 1. Parâmetros e notações para a metodologia e avaliação experimental

Variável	Valores Padrão	Descrição
x_t	N/A	série temporal diária básica
\tilde{X}_T	N/A	série temporal agregada correspondente a x_t
x_{tr}	N/A	subconjunto de x_t usado para treinamento
x_{ts}	N/A	subconjunto de x_t usado para teste
m	7 ou 30	parâmetro de unidade de tempo para agregação temporal
m_i	7 ou 30	parâmetro de unidade de tempo para agregação temporal realizada antes da previsão
m_f	7 ou 30	parâmetro de unidade de tempo para agregação temporal realizada após a previsão
N$	|x_{ts}|/m = 365/m$	número de observações agregadas de série temporal a serem previstas
r$	|x_{ts}| = mN = 365$	número de observações básicas de série temporal a serem previstas
k	ARIMA ou <i>Random Walk</i>	modelo de série temporal a ser aplicado para previsão
<i>PrePred</i>	$\text{PrePred}(x_{tr}, x_{ts}, r, m, k)$	previsão de agregações futuras baseada em dados diários básicos
<i>PostPredW</i>	$\text{PostPred}(x_{tr}, x_{ts}, r, 7, m, \text{ARIMA})$	previsão de agregações futuras baseada em dados semanais agregados
<i>PostPredM</i>	$\text{PostPred}(x_{tr}, x_{ts}, r, 30, 30, \text{ARIMA})$	previsão de agregações futuras baseada em dados mensais agregados

Walk será usado. O modelo é então usado para gerar r previsões diárias com base em x_{tr} , que são representadas por p no passo 2 do Algoritmo *PrePred*. A partir destas previsões, a previsão para as agregações futuras desejadas são geradas analogamente à Equação 1, e são representadas por pa . Aqui a notação a significa *agregada*.

A segunda abordagem, *PostPred*, é representada pelo Algoritmo *PostPred*. No passo 2, aplica-se a Equação 1 a x_{tr} com $m = m_i$ para construir a série agregada representada por $x_{tr}a$. Então constrói-se um modelo para $x_{tr}a$, que é usado para gerar as previsões desejadas, representadas como p . Vale a pena mencionar que o passo 5 do Algoritmo *PostPred* é incluído para considerar o caso em que haja interesse em se prever agregações futuras baseadas em dados previamente agregados (previsão de dados mensais a partir de dados semanais). No caso de $m_i = m_f$, $pa = p$.

Prepara-se o conjunto de teste agregado $x_{ts}a$ aplicando-se a Equação 1 a x_{ts} com m ou $m = m_f$. Em seguida, os erros das previsões geradas pa são computados nos passos 5 e 7 dos Algoritmos *PrePred* e *PostPred*, respectivamente. Tais previsões são comparadas às N observações de teste agregadas em $x_{ts}a$. Os erros de previsão calculados são então analisados estatisticamente para avaliação da eficiência de cada abordagem, usando o teste t ou o teste Wilcoxon, dependendo da normalidade da distribuição dos erros.

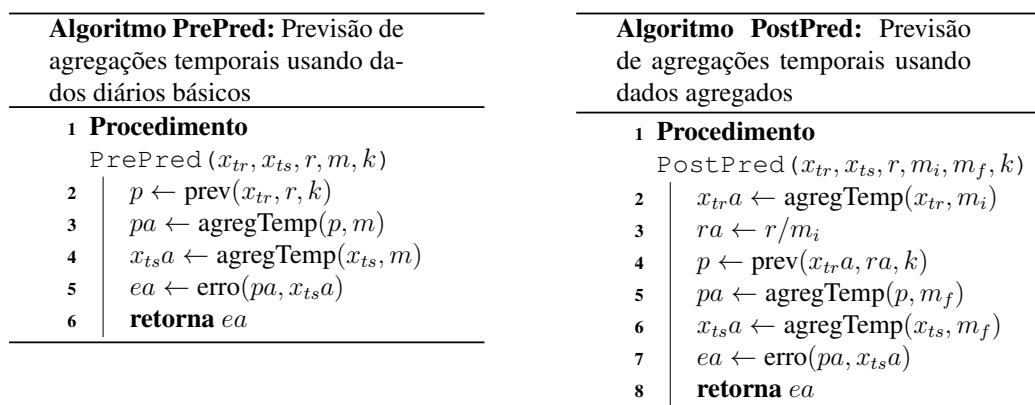


Figura 1. Algoritmos das abordagens adotadas para a previsão de agregações temporais

Os Algoritmos PrePred e PostPred foram implementados utilizando-se a linguagem e ambiente para computação estatística e ciência de dados R. Particularmente, foi desenvolvido um pacote de funções R chamado *TSPred* [Salles e Ogasawara 2015] para automatizar o treinamento e previsão de séries temporais com modelos lineares, entre eles, os modelos ARIMA. Estas funções selecionam um modelo ARIMA otimizado, enquanto também consideram sazonalidade.

5. Avaliação Experimental

Diversos experimentos foram realizados utilizando-se séries temporais diárias coletadas pelo projeto PIRATA. Este projeto corresponde a uma rede de observação composta por 21 boias distribuídas pelo oceano Atlântico tropical, e foi planejada para monitorar uma série de variáveis oceano-atmosféricas [GOOS-Brasil 2015]. Uma das variáveis observadas é a TSM, medida entre 1 metro e 1,5 metro de profundidade, cujos dados são utilizados nos experimentos desta pesquisa. As observações diárias de TSM são constantemente atualizadas e estão publicamente disponíveis [GOOS-Brasil 2015]. O intervalo geral dos dados de medições de TSM disponíveis até a realização desta pesquisa compreende o período de janeiro de 1998 até março de 2015.

No conjunto de dados disponível pelo PIRATA, nenhuma das boias produziu registros completos. Devido às dificuldades resultantes da ausência de dados [Salles et al. 2015], o primeiro passo experimental desta pesquisa foi a seleção de dados para gerar um conjunto de dados que maximize a quantidade de observações ininterruptas. Para este propósito, foi considerado uma interrupção de dados quando ocorria uma ausência de dados consecutivos correspondentes a um mês de medição. Além disso, foram selecionados apenas períodos com pelo menos dois anos de observações ininterruptas, o que permite a formação de um conjunto de dados de treino com no mínimo um ano de observações utilizado para a previsão de um ano à frente. Seguindo este critério, ao todo foram selecionadas 17 boias que contribuíram para a soma de 50.000 observações de TSM selecionadas para análise.

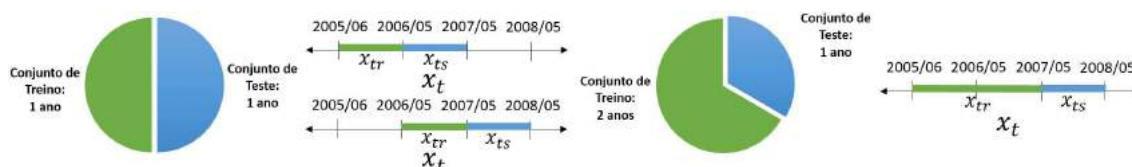
As séries temporais de TSM selecionadas foram sujeitas a análises estatísticas nas quais foram executados oito dos testes mais adotados para autocorrelação, aleatoriedade e independência, heterocedasticidade, linearidade e estacionariedade. Um resumo dos resultados dos experimentos estatísticos é apresentado na Tabela 2, onde se pode observar a porcentagem dos resultados dos testes que confirmam a hipótese nula de cada teste (H_0).

Cada série temporal de dados de TSM selecionada foi particionada em conjuntos de treino e conjuntos de teste para a aplicação da metodologia experimental desta pesquisa. A fim de se promover uma melhor discussão sobre o efeito do número de observações dos conjuntos de treino nas tarefas de construção de modelos (x_{tr}) e previsão (x_{ts}), foi aplicado o processo exemplificado pela Figura 2 que apresenta o particionamento de séries temporais selecionadas da bóia *OnOe*. O número de observações nos conjuntos de teste permanece fixo e equivalente ao número de previsões de um ano à frente, enquanto que o tamanho dos conjuntos de treino crescem gradualmente para $|x_t| - |x_{ts}| = |x_t| - n$ observações.

Durante os experimentos, foram computados doze valores de erro de previsão para cada horizonte de previsões agregadas. Estes erros são cumulativamente produzidos

Tabela 2. Resultados e análise dos testes estatísticos

Testes Estatísticos	Hipótese Nula (H0)	Análise
Durbin-Watson	Resíduos não-correlacionados	0%
Breusch-Godfrey		0%
Box-Pierce	Aleatoriedade	0%
Goldfeld-Quandt	Homoscedasticidade	68%
White Neural Network	Linearidade na média	60%
<i>Augmented Dickey-Fuller</i> (ADF)	Não-estacionariedade	44%
<i>Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin</i> (KPSS)	Estacionariedade de tendência	64%
KPSS	Estacionariedade de nível	56%

**Figura 2. Exemplo de particionamento de dados para as séries temporais da boia On0e**

através do aumento do número de passos à frente sob análise. Quatro medidas de erro diferentes foram adotadas para análise, incluindo MSE [Shumway e Stoffer 2010], NMSE, MAPE e SMAPE [Chen e Yang 2004].

5.1. Discussão de Resultados

Nos experimentos realizados foram calculados 24.720 erros de previsão para cada uma das quatro medidas de erro adotadas. Todos estes resultados foram estatisticamente analisados, o que permitiu a comparação do comportamento de *PrePred* e *PostPred*. Além disso, foi possível observar como o desempenho de previsão foi afetado pela agregação temporal com diferentes horizontes à frente e tamanhos de conjuntos de treino.

A metodologia de particionamento de dados aplicada nesta pesquisa resultou em conjuntos de treino contendo entre um e onze anos de observações. Contudo, com o intuito de evitar conclusões tendenciosas, foram escolhidos para discussão somente os erros provenientes de previsões baseadas em conjuntos de treino com seis anos de observações ou menos, já que se sabe que eles se originam de pelo menos oito boias diferentes. Além disso, notou-se que não existia diferença estatística entre os erros de previsão computados em medidas de acurácia diferentes, por isso a análise foi limitada a apresentar o Erro Médio Quadrático (MSE). Uma visão mais geral do processo experimental aplicado nesta pesquisa para a geração dos dados de erro de previsão analisados e discutidos nesta seção pode ser mais facilmente obtida pela análise da Figura 3.

O modelo *Random Walk* usado na abordagem *PrePred* foi adotado como base de referência. Com isso, foi estudada a validade do uso dos modelos ARIMA através da sua comparação com esta base. A Figura 4 apresenta gráficos com o número relativo de vezes em que cada abordagem de previsão aplicada (*PrePred* e *PostPred*) teve um melhor desempenho estatisticamente significativo quando comparada à base de referência *Random Walk*. A Figura 4(a) refere-se aos erros de previsão para a previsão de 12 semanas

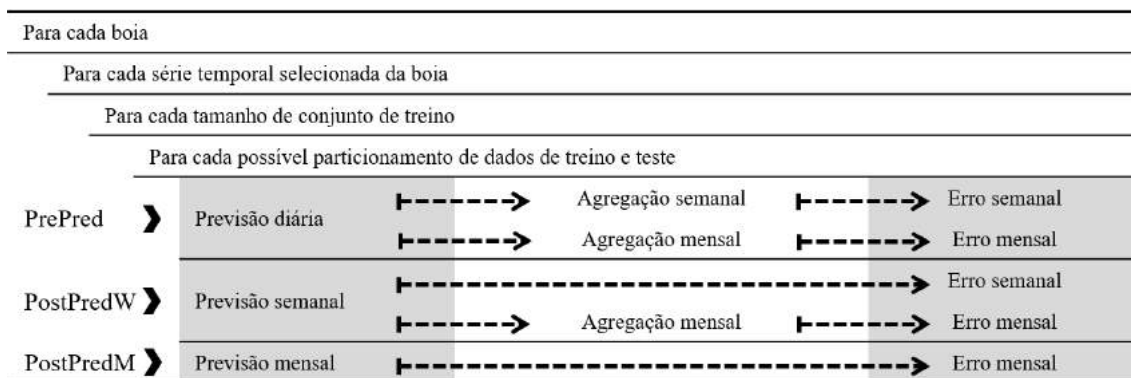
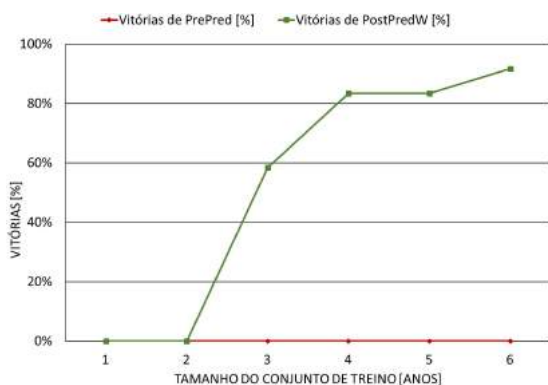
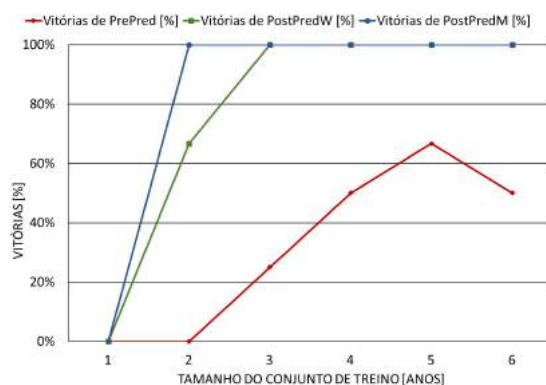


Figura 3. Visão geral do processo experimental aplicado para a geração dos dados de erro de previsão analisados

à frente, enquanto a Figura 4(b) refere-se aos erros de previsão para a previsão de 12 meses à frente. Os resultados estão agrupados de acordo com o tamanho (em anos) dos conjuntos de treino modelados.



(a) Comparação do ARIMA (*PrePred* e *PostPredW*) contra o *Random Walk* para 12 agregações semanais

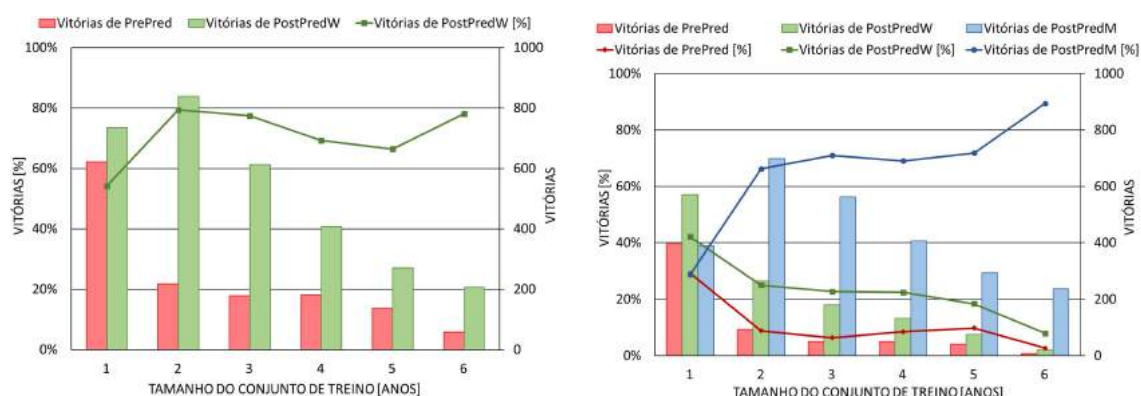


(b) Comparação do ARIMA (*PrePred*, *PostPredW* e *PostPredM*) contra o *Random Walk* para 12 agregações mensais

Figura 4. Número relativo de vezes em que cada abordagem de previsão aplicada teve um melhor desempenho estatisticamente significativo quando comparada à base de referência *Random Walk*

Foi feito um estudo comparativo dos erros de previsão produzidos pelos experimentos desta pesquisa usando o modelo ARIMA. Para melhor compreensão, define-se *vitória* como o número de vezes em que uma abordagem em particular apresentou um melhor desempenho, *i.e.*, menores erros de previsão em comparação a outras abordagens. A Figura 5(a) mostra um gráfico com as vitórias das abordagens de previsão aplicadas, *PrePred* e *PostPred*, de acordo com o tamanho em anos do conjunto de treino modelado. Um gráfico análogo, na Figura 5(b), apresenta as vitórias de *PrePred*, *PostPredW*, e *PostPredM* de acordo com o tamanho em anos dos conjuntos de treino modelados.

Embora na revisão da literatura tenha sido observado que *PrePred* é a abordagem mais adotada durante previsões de TSM, as análises experimentais apontaram que esta foi geralmente superada pelo *Random Walk* em previsões semanais e mensais. Tal comportamento não ocorreu quando *PostPred* foi usado. Quando o tamanho do conjunto de



(a) Desempenho na geração de até doze previsões agregadas semanais

(b) Desempenho na geração de até doze previsões agregadas mensais

Figura 5. Gráficos das vitórias de cada abordagem de previsão com relação aos seus desempenhos na geração de previsões agregadas

treinamento foi maior que dois anos, *PostPred* superou o *Random Walk*. Ademais, foram feitos testes estatísticos sob diferentes horizontes de previsão entre *PrePred* e *PostPred* e na maioria dos casos, *PostPred* foi significativamente melhor que *PrePred*. *PrePred* foi competitivo apenas quando ambos o horizonte de previsão e o tamanho do conjunto de treinamento eram pequenos.

6. Conclusões

A previsão de longo prazo da TSM no Oceano Atlântico Tropical é extremamente relevante como uma forma de auxiliar as agências governamentais e sociedade a prepararem-se para a ocorrência futura de eventos extremos, como as secas. Assim, melhorar a previsão da TSM em diferentes horizontes é uma questão primordial. Esta pesquisa avalia o uso da agregação temporal e suas consequências em diferentes horizontes de previsão de TSM. Além dos dados diários da TSM obtidos do projeto PIRATA, foram modeladas e avaliadas séries temporais semanais e mensais derivadas para analisar o impacto da agregação temporal na previsão de futuras observações agregadas de TSM. Esta pesquisa também explora diferentes tamanhos de conjuntos de dados de treino.

Os resultados apontaram para a importância da aplicação da agregação temporal para fornecer previsões de longo prazo para a TSM. Além disso, esta pesquisa destaca a influência dos horizontes de previsão e do tamanho dos conjuntos de dados de treinamento sobre os possíveis benefícios da aplicação de agregação temporal para a previsão da TSM, especialmente quando existe significativa diversidade nas características estatísticas das séries temporais disponíveis. Não apenas os resultados desta pesquisa podem ser usados como critério para o planejamento de experimentos de previsão de TSM, mas também esta metodologia pode servir como base para estudos futuros sobre o valor prático de diferentes estratégias de agregação temporal para a previsão de diferentes conjuntos de dados de TSM de diferentes tamanhos.

Referências

Chen, Z. e Yang, Y. (2004). Assessing forecast accuracy measures. *Preprint Series*, (2004-2010):2004–10.

- Cho, J., Yeh, P. J. F., Lee, Y.-W., Kim, H., Oki, T., Kanae, S., Kim, W., e Otsuki, K. (2010). A study on the relationship between Atlantic sea surface temperature and Amazonian greenness. *Ecological Informatics*, 5(5):367–378.
- Durand, B., Servain, J., Laurent, H., e Machado, L. A. T. (2005). Tropical Atlantic Moisture Flux, Convection over Northeastern Brazil, and Pertinence of the PIRATA Network*. *Journal of Climate*, 18(12):2093–2101.
- EM-DAT (2016). The international disasters database.
- GOOS-Brasil (2015). PIRATA Dataset. Technical report, <http://www.goosbrasil.org>.
- Gujarati, D. (2002). *Basic Econometrics*. McGraw-Hill/Irwin, Boston; Montreal, 4 edition edition.
- Hertig, E. e Jacobeit, J. (2010). Predictability of Mediterranean climate variables from oceanic variability. Part II: Statistical models for monthly precipitation and temperature in the Mediterranean area. *Climate Dynamics*, 36(5-6):825–843.
- Perera, C., Liu, C. H., Jayawardena, S., e Chen, M. (2014). A survey on internet of things from industrial market perspective. *IEEE Access*, 2:1660–1679.
- Salles, R., Assis, L., Guedes, G., Bezerra, E., Porto, F., e Ogasawara, E. (2017). A framework for benchmarking machine learning methods using linear models for univariate time series prediction. In *The 2017 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)*, pages 1–8.
- Salles, R., Bezerra, E., Soares, J., e Ogasawara, E. (2015). Evaluating Linear Models as a Baseline for Time Series Imputation. In *XXX Simpósio Brasileiro de Banco de Dados*, Petrópolis, RJ.
- Salles, R., Mattos, P., Iorgulescu, A.-M. D., Bezerra, E., Lima, L., e Ogasawara, E. (2016). Evaluating temporal aggregation for predicting the sea surface temperature of the Atlantic Ocean. *Ecological Informatics*, 36:94–105.
- Salles, R. P. e Ogasawara, E. (2015). TSPred: Functions for Baseline-Based Time Series Prediction. Technical report, <http://cran.r-project.org/web/packages/TSPred/index.html>.
- Shumway, R. H. e Stoffer, D. S. (2010). *Time Series Analysis and Its Applications: With R Examples*. Springer, New York, 3rd ed. 2011 edition edition.
- Teixeira, P. M., Dubois-Iorgulescu, A.-M., Salles, R., Bezerra, E., Ogasawara, E., e Lima, L. S. d. (2015). Uso de Redes Neurais para Previsão da Temperatura da Superfície do Mar do Oceano Atlântico Tropical. In *IX Brazilian e-Science Workshop*, Recife, PE.
- Tiao, G. C. (1972). Asymptotic behaviour of temporal aggregates of time series. *Biometrika*, 59(3):525–531.
- Wei, W. W. S. (2005). *Time Series Analysis : Univariate and Multivariate Methods*. Pearson, Boston, 2 edition edition.

Método de Aprendizado Não Supervisionado Baseado no Produto Cartesiano de Rankings para Busca de Imagens

Lucas Pascotti Valem, Daniel Carlos Guimarães Pedronette

¹ Departamento de Estatística, Matemática Aplicada e Computação (DEMAC)
Universidade Estadual Paulista (UNESP), Rio Claro, Brasil

lucasvalem@rc.unesp.br, daniel@rc.unesp.br

Resumo. Apesar dos avanços significativos em ferramentas de busca de imagens, a definição de uma medida efetiva para a modelagem de similaridade entre imagens continua sendo um desafio em Sistemas de Recuperação de Imagens por Conteúdo (CBIR). Nesse cenário, técnicas de aprendizado não supervisionado de similaridade, capazes de melhorar a eficácia de tarefas de recuperação de imagens sem a intervenção do usuário são indispensáveis. Este trabalho de iniciação científica apresenta o método Cartesian Product of Ranking References (CPRR), o qual foi desenvolvido com esse propósito. Vários experimentos foram conduzidos em quatro coleções de imagens, considerando várias características visuais e diversos aspectos. Além da eficácia, também foram realizados experimentos para avaliações de eficiência, considerando computação paralela e heterogênea em CPU e GPU. O método atingiu ganhos significativos de eficácia que são comparáveis aos resultados de estado da arte mais populares.

Abstract. Despite the consistent development of visual features, effectively measuring the similarity among images remains a challenging problem in Content-based Image Retrieval (CBIR) systems. In this scenario, similarity learning approaches capable of improving the effectiveness of retrieval in an unsupervised way are indispensable. This undergraduate research work presents a method called Cartesian Product of Ranking References (CPRR) which was developed with this objective. An extensive experimental evaluation was conducted considering various aspects, four public image datasets, and several features. Besides effectiveness, experiments were also conducted to assess the efficiency, considering parallel and heterogeneous computing on CPU and GPU devices. The method has achieved significant effectiveness gains, including competitive state-of-the-art results on popular benchmarks.

1. Introdução

Ao longo dos anos, a evolução das tecnologias de aquisição e compartilhamento de conteúdos visuais provocou um grande crescimento das coleções de imagens (*datasets*). Com a grande quantidade de imagens acumuladas diariamente [Thomee and Lew 2012], os sistemas CBIR (*Content-Based Image Retrieval*) se tornaram a principal solução para a indexação e busca de imagens através de seu conteúdo visual.

Apoiados principalmente pela criação de diversas ferramentas visuais e medidas de distância, os sistemas CBIR se estabeleceram como um recurso essencial em muitos campos. No entanto, apesar do desenvolvimento de métodos de recuperação de imagens,

medir efetivamente a similaridade entre as imagens continua sendo um desafio. Assim, propostas mais recentes têm se direcionado em outras estratégias para os processos de recuperação, não diretamente relacionadas a procedimentos de extração de características de baixo nível [Liu et al. 2007].

Vários métodos de pós-processamento foram propostos para melhorar a eficácia de tarefas de recuperação não supervisionadas [Yang et al. 2009, Yang et al. 2013, Jiang et al. 2011]. No geral, o principal objetivo de tais métodos é substituir distâncias par a par por medidas de afinidade global capazes de considerar a estrutura do *dataset* [Yang et al. 2013]. Apesar de eficazes, métodos baseados em processos de difusão [Yang et al. 2009] e grafos [Wang et al. 2011a] geralmente apresentam altos custos computacionais.

Nesse cenário, métodos que exploram a informação contida em listas ordenadas de resultados (*ranked lists*) têm atraído bastante atenção recentemente, considerando tanto aspectos de eficácia quanto eficiência. Vários métodos recentes demonstram [Pedronette and da S. Torres 2013, Bai et al. 2015, Valem et al. 2015] que uma análise das posições dos elementos nas *ranked lists* fornece uma fonte de informação rica e confiável para obtenção de medidas contextuais de distância ou similaridade. Essas informações podem ser analisadas por diferentes modelos, como a similaridade das *ranked lists* [Pedronette and da S. Torres 2013] ou conjuntos [Bai et al. 2015], recomendações baseadas nas posições dos elementos [Valem et al. 2015], e verificações de consistência das *ranked lists* [Chen et al. 2014]. Em relação à eficiência, uma vez que as informações mais relevantes se encontram nas primeiras posições das *ranked lists*, o esforço computacional necessário é reduzido. Além disso, o modelo de lista ordenada de resultados permite uma representação uniforme, independente de medidas de distância ou similaridade.

A iniciação científica teve como propósito o desenvolvimento do algoritmo de aprendizado não supervisionado chamado de *Cartesian Product of Ranking References* (CPRR). O principal objetivo do CPRR é maximizar a informação de similaridade disponível nos *rankings* através de operações de produto cartesiano. Enquanto o algoritmo CPRR considera apenas um subconjunto das *ranked lists* para reduzir os custos computacionais, o produto cartesiano é usado para expandir as relações de similaridade. A ideia central consiste no uso de consultas de vizinhos mais próximos e mais próximos reversos (*k*NN e *reverse k*NN) para calcular os conjuntos de imagens, os quais são usados pelas operações de produto cartesiano. Baseado no nosso conhecimento atual da literatura, o CPRR é o primeiro método de aprendizado não supervisionado que explora o produto cartesiano de conjuntos de vizinhança e vizinhança reversa para tarefas de recuperação de imagens. Além disso, o método desenvolvido pode ser usado em operações de agregação de listas e pode ser executado em paralelo, apresentando tempos de execução bastante reduzidos.

Para uma avaliação consistente do método, diversos experimentos foram conduzidos, considerando diferentes aspectos. Quatro coleções de imagens públicas e diversos descritores de imagens distintos foram considerados. Os resultados experimentais confirmam os ganhos significativos de eficácia do método desenvolvido, atingindo ganhos relativos de até +32.57%. Experimentos realizados para avaliar a eficiência do método em computação paralela e heterogênea (CPU e GPU) demons-

traram que o algoritmo apresenta tempos de execução muito baixos para coleções de imagens de diferentes tamanhos. Dentre os *baselines* considerados, está o algoritmo *RL-Recommendation* [Valem et al. 2015], que possui ótimos resultados de eficácia e eficiência, embora os resultados do CPRR tenham se revelado superiores. O algoritmo CPRR também possui resultados comparáveis a métodos recentes de recuperação considerados estado da arte. Destaca-se, por exemplo, que o algoritmo alcançou um *N-S score* de 3.93 no *dataset* UKBench, frequentemente utilizado como *benchmark*, resultado superior aos mais recentes na literatura. Esse trabalho deu origem a publicações e prêmios, dentre eles uma publicação em conferência relevante da área premiada como *Best Full Paper* [Valem and Pedronette 2016].

O restante do texto é organizado como se segue: a Seção 2 apresenta uma definição formal do problema abordado. A Seção 3 apresenta o algoritmo CPRR, desenvolvido pelo aluno. A Seção 4 descreve a avaliação experimental. A Seção 5 lista as premiações e submissões efetuadas. Por fim, a Seção 6 discute as conclusões.

2. Definição Formal do Problema

Seja $\mathcal{C} = \{img_1, img_2, \dots, img_n\}$ uma coleção de imagens, onde n é o tamanho da coleção. Seja $\rho: \mathcal{C} \times \mathcal{C} \rightarrow \mathbb{R}$ uma função de similaridade, tal que $\rho(img_i, img_j)$ denota a similaridade entre duas imagens $img_i, img_j \in \mathcal{C}$. Para simplificar a leitura, a notação $\rho(i, j)$ é utilizada ao longo do texto.

A similaridade entre todas as imagens $img_i, img_j \in \mathcal{C}$ definida pela função $\rho(i, j)$ pode ser aplicada para calcular uma matriz de afinidade W . A matriz W , por sua vez, é comumente utilizada como uma matriz de adjacência por vários métodos baseados em grafos e em processos de difusão. Contudo, esse método geralmente resulta em um armazenamento e complexidade temporal de pelo menos $O(n^2)$, impedindo resultados eficientes e escaláveis em grandes coleções de imagens.

O modelo de lista ordenada de resultados representa uma solução efetiva e eficiente nesse cenário. Diferente das funções de similaridade, as quais estabelecem relações apenas entre pares de imagens, as *ranked lists* armazenam informação de similaridade entre a imagem de consulta e toda a coleção de imagens. Além disso, embora uma *ranked list* possa conter informações de toda uma coleção, espera-se encontrar a maior parte das informações relevantes nas suas primeiras posições. Portanto, uma constante $L \ll n$ pode ser usada tal que apenas um subconjunto das primeiras L posições da *ranked list* são consideradas, reduzindo o custo computacional requerido pelo algoritmo.

Formalmente, uma *ranked list* $\tau_q = (img_1, img_2, \dots, img_L)$ pode ser definida como uma permutação de uma coleção de imagens $\mathcal{C}_L \subset \mathcal{C}$, a qual contém as imagens mais similares à imagem de consulta img_q , tal que $|\mathcal{C}_L| = L$. Uma permutação τ_q é uma bijeção do conjunto \mathcal{C}_L para o conjunto $[L] = \{1, 2, \dots, L\}$. A notação $\tau_q(i)$ pode ser interpretada como a posição (classificação ou *rank*) da img_i na *ranked list* τ_q . Portanto, se a img_i está classificada antes da img_j na *ranked list* da img_q , isto é, $\tau_q(i) < \tau_q(j)$, então $\rho(q, i) \geq \rho(q, j)$.

Toda imagem em uma coleção pode ser tomada como uma imagem de consulta img_q e sua respectiva *ranked list* pode ser calculada. Sendo assim, o conjunto de *ranked lists* $\{\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n\}$ fornece um modelo compacto e efetivo de lista ordenada de resultados.

3. Algoritmo CPRR

O principal objetivo do *Cartesian Product of Ranking References* (CPRR) é maximizar a informação de similaridade codificada nas *ranked lists* utilizando operações de produto cartesiano.

O método desenvolvido pode ser descrito em duas etapas principais:

- **Normalização das Posições:** as referências recíprocas das posições são analisadas melhorando a simetria da vizinhança e, conseqüentemente, a eficácia das *ranked lists*;
- **Produto Cartesiano das Referências:** o produto cartesiano é calculado considerando as primeiras k posições dos conjuntos de vizinhança e dos conjuntos de vizinhança reversa. Os resultados obtidos são usados para definir uma medida iterativa de similaridade que é utilizada para reordenar as *ranked lists*.

3.1. Produto Cartesiano dos Conjuntos de Vizinhança

Enquanto o algoritmo considera apenas um subconjunto das *ranked lists* para reduzir os custos computacionais, o produto cartesiano é usado para expandir as relações de similaridade. Sejam $\mathcal{N}(i, k)$ e $\mathcal{N}(j, k)$ os conjuntos de vizinhança de tamanho k das imagens img_i, img_j . Seja \mathcal{C} o conjunto que representa a coleção de imagens. A medida de similaridade $wc(i, j)$ é calculada considerando toda imagem de consulta $img_q \in \mathcal{C}$ que apresenta img_i e img_j como vizinhos. Além disso, a medida leva em consideração a posição da imagem, ou seja $r_k(q, i) \times r_k(q, j)$, onde $r_k(q, i) = k - \tau_q(i) + 1$. Formalmente, a medida $wc(i, j)$ pode ser definida como:

$$wc(i, j) = \sum_{q \in \mathcal{C}} \sum_{i \in \mathcal{N}(q, k)^2} \sum_{j \in \mathcal{N}(q, k)^2} r_k(q, i) \times r_k(q, j). \quad (1)$$

Em termos de complexidade assintótica, a medida de similaridade apresenta complexidade de apenas $O(n)$, uma vez que k é uma constante. A Figura 1 apresenta o algoritmo para a realização dessa etapa. A principal ideia consiste em realizar a análise apenas das primeiras k posições para o cálculo do produto cartesiano de cada conjunto de vizinhança. O produto cartesiano da vizinhança reversa é realizado de maneira análoga, mas considerando as referências realizadas a img_q nas demais *ranked lists* do *dataset*.

Figura 1. Produto Cartesiano dos Conjuntos de Vizinhança.

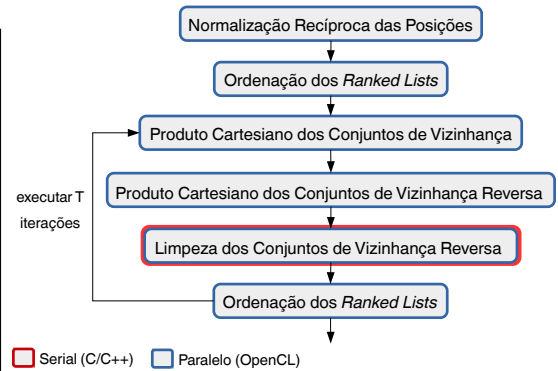
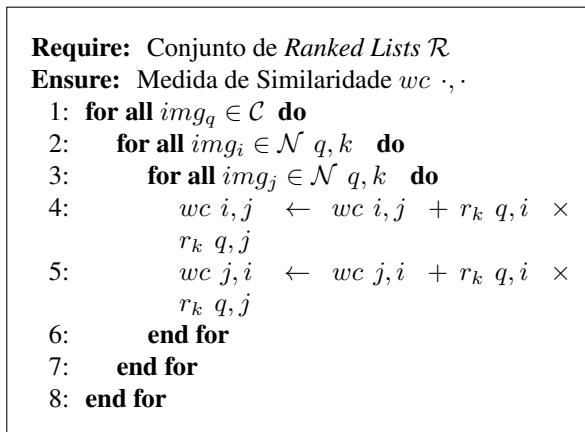


Figura 2. Design do CPRR Paralelo.

3.2. Design Paralelo

A Figura 2 apresenta todas as etapas do algoritmo e seu *design* paralelo usando o padrão OpenCL. O algoritmo foi paralelizado em seis *kernels*. Um *kernel* pode ser entendido como uma etapa da paralelização, cada instância de um *kernel* é executada em uma unidade chamada *work-item*. O mesmo código é executado em paralelo por diferentes *work-items* com dados distintos. Dois modelos de transferência de memória foram usados: *Writer Buffer*, o qual requer a transferência dos dados para a memória do dispositivo; e o *Map Buffer*, o qual requer apenas a transferência dos ponteiros dos dados.

Como as operações de produto cartesiano são processadas em paralelo e as medidas de similaridade são armazenadas na memória global, acessos concorrentes podem provocar perdas de atualizações. No entanto, o *overhead* associado a operações atômicas no OpenCL é alto. Portanto, atualizações diretas de medidas de similaridade são permitidas devido ao impacto pouco significativo na eficácia do algoritmo (como apresentado na seção experimental).

Ao término de cada iteração, um procedimento de ordenação é executado para atualizar as primeiras posições das *ranked lists* de acordo com uma nova medida de similaridade. O algoritmo *insertion sort* é usado, uma vez que tende a ser linear quando a entrada está quase ordenada.

4. Avaliação Experimental

Esta seção apresenta um resumo dos experimentos realizados para avaliar o método proposto. Uma descrição completa dos experimentos, *datasets*, descritores e parâmetros utilizados pode ser encontrada em [Valem and Pedronette 2016].

4.1. Protocolo Experimental

Nos experimentos, são considerados quatro *datasets* públicos diferentes, com tamanhos indo de 280 a 10.200 imagens. Com a finalidade de explorar as características distintas dos *datasets*, diversos descritores globais foram usados, considerando propriedades de cor, textura e contorno. A extração de características a partir de redes neurais convolucionais foram realizadas utilizando o *Caffe framework* [Jia et al. 2014]. Em relação aos descritores locais, o descritor SIFT [Lowe 1999] é considerado em conjunto a um variante do *vocabulary tree based retrieval* (VOC) [Wang et al. 2011b]. Os *datasets* e descritores são brevemente descritos na Tabela 1.

Diferentes métodos recentes foram considerados como *baselines*, dentre eles os principais: *Pairwise Recommendation* [Pedronette and da S. Torres 2012], *RL-Sim* [Pedronette and da S. Torres 2013] e *RL-Recommendation* [Valem et al. 2015].

A avaliação de eficácia considera todas as imagens de cada *dataset* como imagens de consulta. Como uma medida de eficácia, o *Mean Average Precision* (MAP) é usado na maior parte dos *datasets*, exceto para o *dataset* UKBench que usa o *N-S Score*. Para o *dataset* MPEG-7, o *Recall@40* também é usado em conjunto com o MAP. A maior parte dos experimentos também reportam o ganho relativo de eficácia do método CPRR em relação ao resultado fornecido pelo descritor.

O tempo médio das execuções é calculado a partir da média de 10 execuções utilizando intervalo de confiança de 95%. O *hardware* utilizado nos experimentos é composto

Tabela 1. Datasets e descritores usados na avaliação experimental.

Soccer [van de Weijer and Schmid]: 280 cenas, compostas por imagens de 7 times de futebol com 40 imagens por classe. Avaliação de eficácia utilizando MAP (%).
Descritores: <i>Auto Color Correlograms (ACC)</i> [Huang et al. 1997], <i>Border/Interior Pixel Classification (BIC)</i> [Stehling et al. 2002] e <i>Global Color Histogram (GCH)</i> [Swain and Ballard 1991].
MPEG-7 [Latecki et al. 2000]: 1.400 imagens com diferentes formas divididas em 70 classes. Frequentemente utilizada para avaliação de métodos de aprendizado não supervisionado. Avaliação de eficácia utilizando MAP (%) e Recall@40.
Descritores: <i>Articulation-Invariant Representation (AIR)</i> [Gopalan et al. 2010], <i>Aspect Shape Context (ASC)</i> [Ling et al. 2010], <i>Beam Angle Statistics (BAS)</i> [Arica and Vural 2003], <i>Contour Features Descriptor (CFD)</i> [Pedronette and da S. Torres 2010], <i>Inner Distance Shape Context (IDSC)</i> [Ling and Jacobs 2007] e <i>Segment Saliences (SS)</i> [da S. Torres and Falcão 2007].
Brodatz [Brodatz 1966]: 1.776 imagens, composta por 111 texturas diferentes divididas em 16 classes. Avaliação de eficácia utilizando MAP (%).
Descritores: <i>Color Co-Occurrence Matrix (CCOM)</i> [Kovalev and Volmer 1998], <i>Local Activity Spectrum (LAS)</i> [Tao and Dickinson 2000] e <i>Local Binary Patterns (LBP)</i> [Ojala et al. 2002].
UKBench [Nistér and Stewénius 2006]: 10.200 imagens, composta de 2.550 objetos capturados de 4 diferentes maneiras (ponto de vista, distância e condições de iluminação). Avaliação de eficácia utilizando N-S score.
Descritores: <i>ACC</i> [Huang et al. 1997], <i>BIC</i> [Stehling et al. 2002], <i>Convolutional Neural Network by Caffe</i> [Jia et al. 2014] <i>framework (CNN-Caffe)</i> , <i>Fuzzy Color and Texture Histogram (FCTH)</i> [Chatzichristofis and Boutalis 2008], <i>Scale-Invariant Feature Transform (SIFT)</i> [Lowe 1999] e <i>Vocabulary Tree (VOC)</i> [Wang et al. 2011b]

de uma CPU Intel Xeon CPU E3-1240 e de uma GPU AMD Radeon HD 7900. O ambiente de software utiliza o sistema operacional Linux 3.11.0-15 - Ubuntu 12.04 e OpenCL 1.2 AMD-APP. O código foi compilado usando g++ 4.6.3 com a *flag* de otimização -O3.

4.2. Avaliação de Eficácia

Primeiramente, o algoritmo proposto é avaliado em tarefas de recuperação de imagem, considerando três *datasets* e diferentes características globais (contorno, cor e textura). Os resultados de MAP são mostrados na Tabela 2, considerando as implementações serial e paralela do algoritmo CPRR. Como pode ser observado, os resultados de eficácia para as implementações serial e paralela são muito parecidos. Os ganhos relativos de eficácia, calculados levando em consideração as execuções seriais, atingiram ganhos de até +32.57%. Resultados de métodos recentes de aprendizado não supervisionado são usados como *baselines*. Nós podemos observar que o método desenvolvido, o CPRR, alcança os melhores resultados para a maior parte dos descritores.

Tabela 2. Avaliação de eficácia do algoritmo CPRR considerando vários datasets e descritores (MAP como medida de eficácia).

Descritor	Dataset	MAP Original	Pairwise Rec.	RL- Rec.	CPRR Serial	CPRR Paralelo	Ganho Relativo
SS	MPEG-7	37.67%	39.90%	48.68%	49.94%	49.947 % ± 0.009	+32.57%
BAS	MPEG-7	71.52%	77.65%	79.58%	80.60%	80.611 % ± 0.006	+12.70%
IDS	MPEG-7	81.70%	86.83%	88.80%	89.42%	89.432 % ± 0.004	+9.45%
CFD	MPEG-7	80.71%	91.38%	91.39%	92.15%	92.157 % ± 0.005	+14.17%
ASC	MPEG-7	85.28%	91.80%	91.34%	92.32%	92.323 % ± 0.005	+8.26%
AIR	MPEG-7	89.39%	95.50%	96.12%	97.80%	97.796 % ± 0.007	+9.41%
GCH	Soccer	32.24%	32.35%	34.38%	35.47%	35.307 % ± 0.054	+10.02%
ACC	Soccer	37.23%	40.31%	41.23%	47.14%	46.965 % ± 0.072	+26.62%
BIC	Soccer	39.26%	42.64%	45.15%	47.29%	47.172 % ± 0.095	+20.45%
LBP	Brodatz	48.40%	51.92%	51.26%	49.07%	49.073 % ± 0.006	+1.38%
CCOM	Brodatz	57.57%	66.46%	64.34%	64.81%	64.816 % ± 0.007	+12.58%
LAS	Brodatz	75.15%	80.73%	79.71%	79.34%	79.346 % ± 0.004	+5.58%

Tabela 3. Avaliação de eficácia no dataset Ukbench.

Descritor	Tipo	Score Original	RL-Rec.	CPRR	Ganho Relativo
SIFT	Local	2.54	2.88	2.99	+17.72%
FCTH	Cor/Text.	2.73	2.80	2.90	+6.23%
BIC	Cor	3.04	3.15	3.28	+7.89%
Caffe	CNN	3.31	3.46	3.61	+9.06%
ACC	Cor	3.36	3.53	3.62	+7.74%
VOC	BoW	3.54	3.65	3.72	+5.08%

Tabela 4. Eficácia para agregação de listas.

Dataset	Descritores	Score	Métrica
Soccer	ACC+BIC	48.25%	MAP
MPEG-7	CFD+AIR	99.95%	MAP
MPEG-7	CFD+ASC	98.83%	MAP
Brodatz	CCOM+LAS	83.26%	MAP
UKBench	VOC+Caffe	3.88	<i>N-S score</i>
UKBench	ACC+Caffe	3.88	<i>N-S score</i>
UKBench	ACC+Caffe+VOC	3.93	<i>N-S score</i>

Um experimento considerando tarefas de recuperação de imagens e um conjunto bastante distinto de descritores foi conduzido no *dataset* UKBench. A Tabela 3 apresenta os resultados de eficácia dados pelo *N-S score*. O *N-S score* é definido no intervalo [1,4] (o maior valor possível é 4) e corresponde ao número de imagens relevantes entre as primeiras quatro imagens retornadas. O pequeno número de imagens por classe (só 4) torna esse *dataset* um grande desafio para algoritmos de aprendizado não supervisionado. Apesar desse fato, o CPRR alcançou altos ganhos indo de +5.08% a +17.72% e superior ao *baseline*.

O algoritmo desenvolvido foi também avaliado em tarefas de agregação de listas, considerando os melhores descritores de cada *dataset*. A Tabela 4 apresenta os resultados de eficácia para vários *datasets*. Nós podemos observar que todos os resultados de agregação são superiores aos dos descritores isolados, alcançando valores muito significativos para todos os *datasets*.

Um experimento analisando conjuntamente aspectos de eficácia e eficiência foram realizados no *dataset* MPEG-7. A Figura 3 apresenta os resultados do CPRR e de *baselines* recentes. Os resultados de MAP e os tempos de execução determinam a posição do algoritmo no gráfico. Portanto, um algoritmo ideal, com alta eficácia e baixo tempo de execução, é posicionado no canto superior esquerdo do gráfico. Perceba que as melhores posições são ocupadas pelo algoritmo CPRR (serial e paralelo).

4.3. Avaliação de Eficiência

Experimentos foram conduzidos para avaliar a eficiência do método desenvolvido, considerando diferentes aspectos: vários *datasets*, implementações serial e paralela, dispositivos distintos (CPU, GPU) e diferentes modelos de transferência de memória. O tempo de *OpenCL build* e *environment time* não são considerados nos resultados, já que podem ser executados uma vez *offline* e o *environment time* é constante independente do *dataset*.

A Tabela 5 apresenta a média dos tempos de execução e intervalos de confiança para o algoritmo CPRR. Para propósito de comparação, o tempo de execução de dois *baselines* recentes são reportados. O melhor resultado de performance para cada *dataset* está destacado em negrito. Como nós podemos observar, o algoritmo CPRR requer tempos de execução muito baixos para todos os *datasets*, menores que os dos *baselines* até mesmo para as implementações seriais.

Uma comparação mais geral do CPRR (tanto serial quanto paralelo) é apresentada na Figura 4. O tempo de execução do *RL-Sim* (serial e paralelo), *RL-Recommendation* (serial e paralelo) e *Pairwise Recommendation* (serial) são reportados como *baselines*. O *dataset* MPEG-7 é considerado para o experimento. Perceba que, mesmo usando uma

Tabela 5. Avaliação de Eficiência: tempo de execução (em segundos) do CPRR para diferentes dispositivos e datasets.

Algoritmo	Exec.	Dispositivo	Soccer	MPEG-7	Brodatz	UKBench
<i>Pairwise Rec.</i>	Serial	CPU	0.1149 ± 0.00018	0.3663 ± 0.00094	0.6672 ± 0.00140	14.802 ± 0.11059
<i>RL-Rec.</i>	Serial	CPU	0.0607 ± 0.00000	0.1462 ± 0.00021	0.1108 ± 0.00102	0.1868 ± 0.00018
CPRR	Serial	CPU	0.0058 ± 0.00021	0.0381 ± 0.00041	0.0501 ± 0.00077	0.1767 ± 0.00102
CPRR	Paralelo	GPU ¹	0.0711 ± 0.00463	0.1640 ± 0.00781	0.1560 ± 0.00570	0.2038 ± 0.00874
CPRR	Paralelo	CPU ¹	0.0032 ± 0.00015	0.0164 ± 0.00031	0.0214 ± 0.00054	0.1834 ± 0.00052
CPRR	Paralelo	CPU ²	0.0027 ± 0.00000	0.0131 ± 0.00018	0.0143 ± 0.00075	0.1082 ± 0.00051

Modelo de Transferência de Memória: ¹Write Buffer; ²Map Buffer.

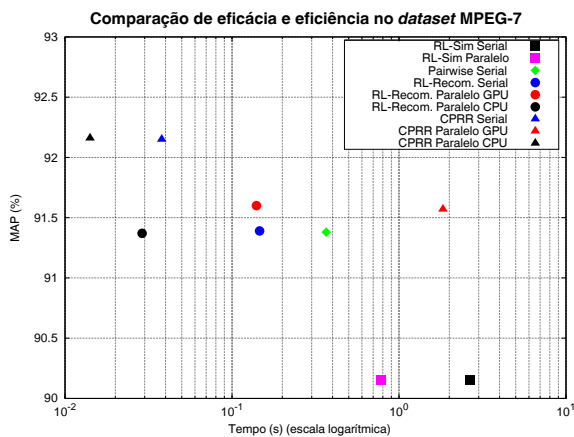


Figura 3. Análise de eficiência e escalabilidade no dataset MPEG-7.

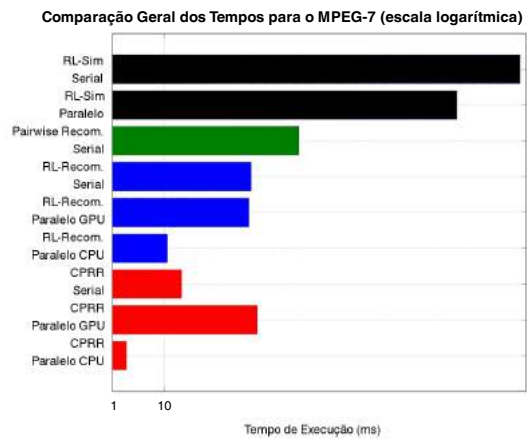


Figura 4. Tempos de execução no dataset MPEG-7.

escala logarítmica, o tempo de execução do algoritmo CPRR (em vermelho) é significativamente menor que outros métodos considerados.

4.4. Resultados Visuais

Quatro exemplos visuais de resultados são apresentados na Figura 5. A imagem apresentada em quadro verde é a imagem de consulta. As *ranked lists* obtidas são apresentadas à direita, com imagens incorretas em quadros vermelhos. São apresentados quatro exemplos de consultas, com os respectivos resultados antes e após a aplicação do algoritmo, considerando o dataset UKBench. É notável a melhoria de eficácia obtida pelo algoritmo para as diferentes consultas analisadas.

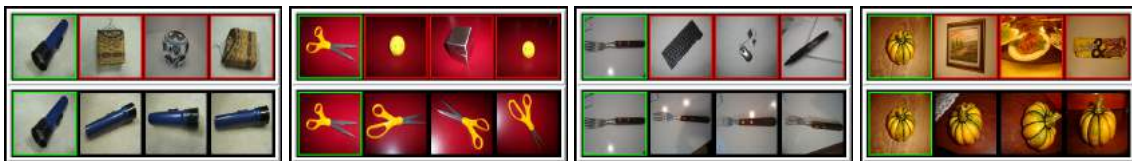


Figura 5. Exemplos de resultados visuais no dataset UKBench.

5. Prêmios e Publicações

O trabalho de iniciação científica originou um artigo [Valem and Pedronette 2016] na categoria *Full Paper* na *Conference on Graphics, Patterns and Images - SIBGRAPI 2016*

(Qualis B1). O SIBGRAPI é uma conceituada conferência na área de recuperação de imagens, visão computacional, processamento de imagens e computação gráfica. O artigo foi premiado como *Best Full Paper of SIBGRAPI 2016*.

O trabalho também foi reconhecido com o prêmio de **Melhor Trabalho de Iniciação Científica da Área de Ciências Exatas no XXVIII CIC** - Congresso de Iniciação Científica da UNESP.

O algoritmo está disponível em uma **plataforma open-source** de métodos de aprendizado não supervisionado desenvolvida pelo aluno e que está em constante aprimoramento. O código fonte pode ser acessado em `github.com/lucasPV/UDLF`.

6. Conclusões

Nesse trabalho de iniciação científica, foi apresentado um novo método de aprendizado não supervisionado para tarefas de recuperação de imagens. O método inova usando uma abordagem baseada em operações de produto cartesiano de conjuntos tomados a partir das *ranked lists*. Vários experimentos foram conduzidos em quatro coleções de imagens diferentes e diversos descritores. Os resultados experimentais revelam a eficácia, a eficiência e a escalabilidade do método mesmo quando comparado com métodos de estado da arte. Como trabalho futuro, pretende-se avaliar o método em outros cenários multimídia (descritores de vídeo, som, texto e outros). Também deseja-se avaliar o método em casos onde a imagem de busca não faz parte da coleção de imagens.

Referências

- Arica, N. and Vural, F. T. Y. (2003). BAS: a perceptual shape descriptor based on the beam angle statistics. *Pattern Recognition Letters*, 24(9-10):1627–1639.
- Bai, X., Bai, S., and Wang, X. (2015). Beyond diffusion process: Neighbor set similarity for fast re-ranking. *Information Sciences*, 325:342 – 354.
- Brodatz, P. (1966). *Textures: A Photographic Album for Artists and Designers*. Dover.
- Chatzichristofis, S. A. and Boutalis, Y. S. (2008). Fcth: Fuzzy color and texture histogram - a low level feature for accurate image retrieval. In *WIAMIS*, pages 191–196.
- Chen, Y., Li, X., Dick, A., and Hill, R. (2014). Ranking consistency for image matching and object retrieval. *Pattern Recognition*, 47(3):1349 – 1360.
- da S. Torres, R. and Falcão, A. X. (2007). Contour Saliency Descriptors for Effective Image Retrieval and Analysis. *Image and Vision Computing*, 25(1):3–13.
- Gopalan, R., Turaga, P., and Chellappa, R. (2010). Articulation-invariant representation of non-planar shapes. In *ECCV*, volume 3, pages 286–299.
- Huang, J., Kumar, S. R., Mitra, M., Zhu, W.-J., and Zabih, R. (1997). Image indexing using color correlograms. In *CVPR*, pages 762–768.
- Jia, Y., Shelhamer, E., Donahue, J., Karayev, S., Long, J., Girshick, R., Guadarrama, S., and Darrell, T. (2014). Caffe: Convolutional architecture for fast feature embedding. *arXiv preprint arXiv:1408.5093*.
- Jiang, J., Wang, B., and Tu, Z. (2011). Unsupervised metric learning by self-smoothing operator. In *ICCV*, pages 794–801.
- Kovalev, V. and Volmer, S. (1998). Color co-occurrence descriptors for querying-by-example. In *ICMM*, page 32.

- Latecki, L. J., Lakmper, R., and Eckhardt, U. (2000). Shape descriptors for non-rigid shapes with a single closed contour. In *CVPR*, pages 424–429.
- Ling, H. and Jacobs, D. W. (2007). Shape classification using the inner-distance. *IEEE TPAMI*, 29(2):286–299.
- Ling, H., Yang, X., and Latecki, L. J. (2010). Balancing deformability and discriminability for shape matching. In *ECCV*, volume 3, pages 411–424.
- Liu, Y., Zhang, D., Lu, G., and Ma, W.-Y. (2007). A survey of content-based image retrieval with high-level semantics. *Pattern Recognition*, 40(1):262 – 282.
- Lowe, D. (1999). Object recognition from local scale-invariant features. In *ICCV*, pages 1150–1157.
- Nistér, D. and Stewénius, H. (2006). Scalable recognition with a vocabulary tree. In *CVPR*, volume 2, pages 2161–2168.
- Ojala, T., Pietikäinen, M., and Mäenpää, T. (2002). Multiresolution gray-scale and rotation invariant texture classification with local binary patterns. *PAMI*, 24(7):971–987.
- Pedronette, D. C. G. and da S. Torres, R. (2010). Shape retrieval using contour features and distance optimization. In *VISAPP*, volume 1, pages 197 – 202.
- Pedronette, D. C. G. and da S. Torres, R. (2012). Exploiting pairwise recommendation and clustering strategies for image re-ranking. *Information Sciences*, 207:19–34.
- Pedronette, D. C. G. and da S. Torres, R. (2013). Image re-ranking and rank aggregation based on similarity of ranked lists. *Pattern Recognition*, 46(8):2350–2360.
- Stehling, R. O., Nascimento, M. A., and Falcão, A. X. (2002). A compact and efficient image retrieval approach based on border/interior pixel classification. In *CIKM*, pages 102–109.
- Swain, M. J. and Ballard, D. H. (1991). Color indexing. *International Journal on Computer Vision*, 7(1):11–32.
- Tao, B. and Dickinson, B. W. (2000). Texture recognition and image retrieval using gradient indexing. *JVCIR*, 11(3):327–342.
- Thomee, B. and Lew, M. (2012). Interactive search in image retrieval: a survey. *International Journal of Multimedia Information Retrieval*, 1(2):71–86.
- Valem, L. P. and Pedronette, D. C. G. (2016). Unsupervised similarity learning through cartesian product of ranking references for image retrieval tasks. In *Conference on Graphics, Patterns and Images (SIBGRAPI'2016)*, pages 249–256.
- Valem, L. P., Pedronette, D. C. G., Torres, R. d. S., Borin, E., and Almeida, J. (2015). Effective, efficient, and scalable unsupervised distance learning in image retrieval tasks. *ICMR*.
- van de Weijer, J. and Schmid, C. Coloring local feature extraction. In *ECCV*.
- Wang, J., Li, Y., Bai, X., Zhang, Y., Wang, C., and Tang, N. (2011a). Learning context-sensitive similarity by shortest path propagation. *Pattern Recognition*, 44(10-11):2367–2374.
- Wang, X., Yang, M., Cour, T., Zhu, S., Yu, K., and Han, T. (2011b). Contextual weighting for vocabulary tree based image retrieval. In *ICCV'2011*, pages 209–216.
- Yang, X., Koknar-Tezel, S., and Latecki, L. J. (2009). Locally constrained diffusion process on locally densified distance spaces with applications to shape retrieval. In *CVPR*, pages 357–364.
- Yang, X., Prasad, L., and Latecki, L. (2013). Affinity learning with diffusion on tensor product graph. *IEEE TPAMI*, 35(1):28–38.

NomadiKey: User Authentication for Smart Devices based on Nomadic Keys

Artur Souza¹, Ítalo Cunha², Leonardo B. Oliveira²

¹ Student – Computer Science Department – Universidade Federal de Minas Gerais

²Advisors – Computer Science Department – Universidade Federal de Minas Gerais

Abstract. *The growing importance of smart devices calls for effective user authentication mechanisms. In this paper, we argue that state-of-the-art authentication mechanisms are either vulnerable to known attacks or do not fully meet usability needs. To address this problem we design NomadiKey, a user-to-device authentication mechanism based on nomadic keyboard keys. NomadiKey increases security level by placing keys at different screen coordinates each time it is activated. Besides, NomadiKey preserves usability by maintaining the traditional relative position of keys. To increase security even further, we also design an extension to NomadiKey, called NomadiKey++, that employs out-of-band channels to protect the user from shoulder-surfing attacks.*

1. Introduction

The deployment of denser smart environments and increasing user dependence on their functionalities impose more stringent requirements on user security and privacy. Smart devices can store gigabytes of personal, private, and potentially sensitive, user data. To protect these data, devices often rely on user authentication mechanisms. These mechanisms can be divided into three categories: (i) something the user has, (ii) something the user is, and (iii) something the user knows.

Users can authenticate using a physical authenticator they have, like a token or smart card [Bojinov and Boneh 2011]. However, in most cases, an adversary can simply simultaneously steal the smart device and the authenticator and access user data.

Users can authenticate through their own biological features like fingerprints, voice, or face. Some previous works propose and evaluate biometric authentication factors from unique body characteristics, like hand characteristics [Pan et al. 2013], iris recognition [Mock et al. 2012], and ECG measurements [Rostami et al. 2013]. Other previous works consider behavioral patterns to authenticate the user, often transparently [Wang et al. 2015]. Biometric schemes usually require simple actions from users during authentication and are vulnerable to few attacks. These schemes, however, require user's biometric features to be stored as secrets in the device, which raises privacy concerns.

In most cases, a user authenticates onto a smart device inputting a secret previously configured on the device. This type of authentication is the most common on smart devices [Egelman et al. 2014]. The security and usability of these mechanisms are heavily affected by the secret chosen; complex secrets increase security but impair usability [Dell'Amico et al. 2010]. Previous work, similar to ours, try to achieve a better trade-off between security and usability by, for instance, motivating users to create stronger but easy-to-input passwords [Haque et al. 2013], using short strokes instead of

Table 1. Worst-case scenario of information available to adversaries

ATTACK	TOUCH INFORMATION		
	Location	Order	Content
Smudge	•		
Vision	•	•	
Shoulder-surfing	•	•	•

simply touching buttons [Arif and Mazalek 2013], or designing extensions to resist specific attacks [Yue et al. 2014].

We consider three classes of attacks against authentication mechanisms, namely *smudge*, *computer vision*, and *shoulder-surfing* attacks. *Smudge attacks* use digital image processing to identify where the screen was touched from residues on the screen (e.g., oil or dust) [Aviv et al. 2010]. *Computer vision attacks* use computer vision techniques to estimate the position of the fingers (and shadows) as they approach the screen to infer when and where the screen was touched [Yue et al. 2014]. In *Shoulder surfing attacks*, adversaries observe the user authenticating, or videos of the user authenticating, to obtain touch position, order, and screen contents. Evaluation of these attacks shows success rates as high as 92%, 91%, and 95% respectively. Our adversary models are summarized in Table 1.

To defend against the aforementioned attacks, we designed an authentication mechanism robust to these attacks while incurring a negligible increase in authentication speed (Section 2). NomadiKey [Cotta et al. 2016], as it is called, places keys at random *absolute* positions on the screen each time it is activated, preventing adversaries from inferring which keys are pressed during authentication and improving security. Besides, NomadiKey preserves usability by maintaining keys’ *relative* positions, helping users navigate the keyboard and locate keys. To protect users against shoulder-surfing attacks, we also present a security extension for NomadiKey that employs vibrations as an out-of-band channel during authentication. The out-of-band channel prevent observing adversaries from retrieving the entire authentication secret through a shoulder-surfing attack.

We compare NomadiKey and NomadiKey++ with five other authentication schemes in face of smudge, vision, and shoulder surfing attacks (Section 3). We first present a worst-case model of each attack, then use statistical modeling to quantify security of each authentication mechanism under no attack and under each of the attacks. We also compare the usability of NomadiKey and NomadiKey++ to the usability of classic PIN authentication and of PIN authentication on random keyboards (Section 4).

In this paper, we make the following novel contributions:

1. NomadiKey++, A security extension to NomadiKey to protect users against shoulder-surfing attacks.
2. Expanded analytical evaluation of NomadiKey, including other authentication mechanisms and shoulder-surfing attacks.
3. Analytical and empirical evaluation of NomadiKey++, comparing it to NomadiKey and other existing authentication mechanisms.

This paper is an extension of previous work. Former versions of NomadiKey appeared on SBSeg [Neto et al. 2015] and IEEE ICC [Cotta et al. 2016] (The student is

a coauthor, under the name Artur Luis Fernandes). The student, together with his advisors, were the sole responsible for conceiving, designing, implementing and evaluating the security extension presented in this paper. The student played a key role in all stages of the development of the original version of NomadiKey as well and was responsible for presenting the work at ICC in Kuala Lumpur, Malaysia. At that time, he also gave an interview about the work, which appeared in online venues like IEEE Spectrum¹ and Android Community². Finally, NomadiKey and NomadiKey++ were the subject of the student's final graduation project at UFMG. These and other information about NomadiKey can be found online at its page³.

2. NomadiKey

In what follows, we present NomadiKey, a new authentication mechanism for smart devices that targets what we believe is a good balance between security and usability. The essence of NomadiKey is an algorithm that allocates positions for keys on the screen as freely as possible but under the constraint that the relative order among them is the same as in a traditional keyboard. More precisely, NomadiKey places keys at random *absolute* positions while constraining the *relative* position of keys. Figure 1 shows an example keyboard built by NomadiKey. Keys are in random positions, but observe that keys on the first line (1, 2, and 3) are above other keys and keys on the first column (1, 4, and 7) are to the left of other keys.



Figure 1. NomadiKey.

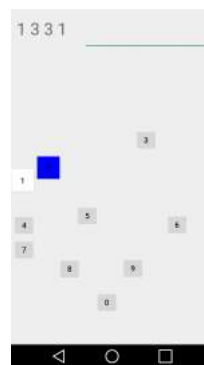


Figure 2. NomadiKey++.

2.1. NomadiKey: Key Position Algorithm

Let S_w and S_h be the screen width and screen height, respectively; and let B_w and B_h be the button width and button height, respectively; let C and R be the number of columns and rows in the keyboard, respectively. We consider the top-left corner of the screen is the origin, i.e., the point $(0, 0)$. We show pseudocode for NomadiKey in Algorithm 1.

NomadiKey partitions the screen into columns and randomizes the coordinate $x(c)$ where each column $c \in [1, C]$ starts. For each column c , NomadiKey computes its minimum possible starting coordinate $x_{\min}(c)$ as $x_{\min}(c) = x(c-1) + \alpha B_w$. The αB_w term

¹<http://spectrum.ieee.org/tech-talk/telecom/security/this-mobile-security-feature-will-annoy-you-but-it-will-also-protect-your-phone>

²<https://androidcommunity.com/nomadikey-shrinks-passcode-entries-to-prevent-smudge-attacks-20160603/>

³<https://sites.google.com/view/nomadikey/>

ensures that there is space for placing keys in column $c - 1$, where $\alpha > 1$ is a factor that defines the minimum width of a column as a function of the button width B_w . We set $x(c - 1) = x_{\min}(c - 1)$ if column $c - 1$ has not been placed yet. This makes $x_{\min}(c)$ the smallest coordinate that still reserves at least αB_w for each unplaced column to the left of column c . We define $x(0) = -\alpha B_w$. Similarly, the maximum possible starting coordinate $x_{\max}(c)$ for column c is $x_{\max}(c) = x(c + 1) - \alpha B_w$. To cover the case where $c = C$, we define $x(C + 1) = S_w + \alpha B_w$.

NomadiKey then chooses coordinate $x(c)$ where column c starts uniformly distributed between $x_{\min}(c)$ and $x_{\max}(c)$. NomadiKey repeats this computation exchanging x for y , C for R , and B_w for B_h to compute $y_{\min}(r)$ and $y_{\max}(r)$ for each row $r \in [1, R]$ (see Algorithm 1). NomadiKey then chooses the coordinate $y(r)$ where each row r starts uniformly distributed between $y_{\min}(r)$ and $y_{\max}(r)$.

The algorithm ensures each grid cell is at least αB_w units wide and at least αB_h units high, which guarantees NomadiKey can place all keys. NomadiKey chooses the x coordinates of keys on column c uniformly distributed between $x(c)$ and $x(c + 1)$; similarly for y coordinates.

Procedure 1 Key Placement

```

1: procedure COMPUTE  $x_{\min}(c)$ 
2:   if column  $c - 1$  has been placed then
3:     return  $x(c - 1) + \alpha B_w$ 
4:   else
5:     return  $x_{\min}(c - 1) + \alpha B_w$ 
6: procedure COMPUTE  $y_{\max}(r)$ 
7:   if row  $r + 1$  has been placed then
8:     return  $y(r + 1) - \alpha B_w$ 
9:   else
10:    return  $y_{\max}(r + 1) - \alpha B_w$ 
    {Procedures for  $x_{\max}$  and  $y_{\min}$  are analogous}
11: procedure NOMADIKEY
12:   for  $c \in \text{random}(1, C)$  do
13:      $x(c) \leftarrow U(x_{\min}(c), x_{\max}(c))$ 
14:   for  $r \in \text{random}(1, R)$  do
15:      $y(r) \leftarrow U(y_{\min}(r), y_{\max}(r))$ 
16:   for  $c \in [1, C]$  do
17:     for  $r \in [1, R]$  do
18:       place key in column  $c$ , row  $r$  at position
        $U(x(c), x(c + 1)), U(y(r), y(r + 1))$ 

```

2.2. NomadiKey++: Shoulder-Surfing Protection

By randomizing the keys' absolute position, NomadiKey strikes a higher security level against smudge and vision attacks (Section 3). However, NomadiKey remains vulnerable to shoulder-surfing adversaries, that can identify where each key is placed. To protect the user against this type of attack, we have designed an extension to NomadiKey based on out-of-band channels.

Adversaries perform shoulder-surfing attacks by positioning themselves near unsuspecting users and observing them authenticate. To protect against this type of attack, we designed an extension to NomadiKey, called NomadiKey++, that employs vibrations

as an out-of-band channel during authentication. Because adversaries are unable to detect the vibrations by observing the user authenticate, they are no longer able to discover the entire authentication secret through shoulder-surfing attacks.

NomadiKey++ works as follows. When it is triggered, the user is presented with a NomadiKey keyboard, as described in Section 2.1. As soon as the keyboard appears, NomadiKey++ starts highlighting keys one by one. In two random digits, the device vibrates while highlighting the key. After all keys have been highlighted, the user authenticates himself by entering his secret and the two keys indicated by the vibrations. The extra keys can be included in any order and position, even between digits of the secret. Figure 2 shows an example of NomadiKey++ highlighting the key 2.

3. Analytical Evaluation

In this section, we compare the security of NomadiKey and NomadiKey++ with classic and random PIN keyboard layouts, pattern-based authentication, LG’s new Knock Code⁴, and Samsung’s Digital Door Lock⁵. We compare all these authentication mechanisms through their *security coefficient*, their number of possible distinct authentication secrets. We compare the security coefficients under safe operation (“no attack”) as well as under smudge, vision, and shoulder-surfing attacks, as defined in our attack models in Section 1.

Table 2 shows closed formulas for the security coefficient of the evaluated mechanisms under safe operation and under each attack. We express security level as a function of the secret *length* n , the number of distinct keys d , the repetitions r_i of a key i and the number of random digits f added by NomadiKey++ and Digital Lock. We consider as keys the digits in PINs, NomadiKey and Digital Lock; the knocks in Knock Code; and dots for pattern authentication. Note we consider a more generic version of Digital Lock that adds f random digits instead of 2.

Security under safe operation. Under safe operation, the security coefficient of keyboard authentication grows exponentially with secret *length*. We note Knock Code’s security level is equivalent to that of a 2×2 keyboard. The exponent’s base is the number of possibilities for each PIN digit; or screen quadrants for knocking. The security of pattern-based authentication, in turn, depends on the number of dots available for pattern continuation, which is given by the n -permutation of the nine possible dots. Note that the security coefficient for pattern-based authentication is lesser or equal to the n -permutation of 9 dots. This is because not all patterns are possible for every dot subset. Also note that the extra digits added by Digital Lock and NomadiKey++ do not increase security under safe operation because an adversary has to guess only the n original PIN digits.

Security under smudge attacks. Smudge attacks allow adversaries to identify the location where the screen was touched, but not the order. Because of their predictable layout, classic PIN, pattern, and Knock Code authentication are vulnerable to smudge attacks. For classic PIN authentication, each touch allows the adversary to identify one number in the PIN. After identifying the numbers in the PIN, the adversary needs to guess the order in which they should be entered. Again, Knock Code’s security is equivalent to that of a 2×2 keyboard. For pattern-based authentication, we note each dot can only be visited

⁴<http://www.lg.com/us/mobile-phones/knockcode>

⁵<http://www.samsungdigitallife.com/DigitalDoorLock.php>

Table 2. Security coefficient under different attack models.

MECHANISM	SECURITY COEFFICIENT			
	Safe Operation	Smudge attack	Vision attack	Shoulder Surfing
Classic PIN	10^n	$\frac{n!}{\prod_{i=1}^d r_i!}$	1	1
Random Keyboards	10^n	$\binom{10}{d} \frac{n!}{\prod_{i=1}^d r_i!}$	$\frac{10!}{(10-d)!}$	1
NomadiKey	10^n	$P \frac{n!}{\prod_{i=1}^d r_i!}$	P	1
Pattern	$\leq \frac{9!}{(9-n)!}$	2	1	1
Knock Code	4^n	$\frac{n!}{\prod_{i=1}^d r_i!}$	1	1
Digital Lock	10^n	$G_f^{n+f} \frac{n!}{\prod_{i=1}^d r_i!}$	1	1
NomadiKey++	10^n	$G_f^{n+f} * P \frac{n!}{\prod_{i=1}^d r_i!}$	$G_f^{n+f} * P$	G_f^{n+f}

n = secret length d = distinct keys r_i = repetitions of key i f = number of random digits added

once, i.e. the pattern is a Hamiltonian path. An adversary can authenticate by inputting the pattern seen in the smudge in forward and reverse directions.

For PIN authentication on random keyboards, knowing where the user touched the screen does not provide any information on which keys were pressed. The only information revealed is the number of distinct digits in the secret. For any d distinct touch points, the adversary needs to try all $\binom{10}{d}$ key combinations. For each key combination, the adversary has to try all possible orderings, as in classic PIN authentication.

NomadiKey is a middle-ground between PIN authentication on classic and random keyboards. The random absolute position of NomadiKey’s keys prevents an adversary from discovering exactly which keys were pressed based on smudge touches. As in random keyboards, the adversary must try a number of key combinations P and all possible orderings for each key combination. The number of key combinations P , however, is less than $\binom{10}{d}$ because the adversary can ignore key combinations that contradict NomadiKey’s restriction on keeping the relative position of keys. For instance, if the smudge reveals two perfectly aligned touches in a vertical line, the adversary can infer that the keys belong to one column and prune the set of possible values for each key.

In Digital Lock and NomadiKey++, when analyzing the smudge, an adversary is unable to distinguish the digits belonging to the PIN from the f random digits added by the authentication mechanism. In order to discover the user’s secret, the adversary must first discover which digits belong to the user’s PIN. The number of possibilities for the adversary to remove the random digits from the user’s PIN is given by the number of distinct combinations of f digits that can be removed from the $n + f$ digit set. Using generating functions, the number of combinations can be modeled as a product of equations of the form $(x^0 + x^1 + \dots + x^{r_i})$. The number of combinations is given by the coefficient

of the x^f component in the expanded form of the product. In our evaluation, we use G_f^{n+f} to express the number of possibilities of choosing f digits from an $n + f$ set.

Finally, the security coefficient under *smudge* attacks of Digital Lock is given by the number of combinations G_f^{n+f} and the number of permutations of n digits. That is, the adversary has to, first, discover which are the real digits from the user's PIN and, second, discover the real order of the digits of the real PIN. For NomadiKey++, the security coefficient is given by G_f^{n+f} , the permutations of n , and the parameter P . That is, the adversary has to test all the permutations of all the G_f^{n+f} combinations of all the $n + f$ sets that do not contradict NomadiKey's restrictions, based on the touches revealed by the *smudge* attack.

Security under vision attacks. Vision attacks allow an adversary to know where the screen was touched, and in which order. Classic PIN authentication, pattern-based authentication, Knock Code, and Digital Lock have “static keys”, so vision attacks give full information over which keys were pressed and in which order. Besides, Digital Lock's random digits are always entered before the user's real PIN digits, allowing an adversary to know which digits do not belong to the user PIN. Hence, the security coefficient of these mechanisms under vision attacks is 1.

NomadiKey and PIN on random keyboards provide some security against vision attacks as an adversary does not know exactly which keys were pressed. In NomadiKey, the adversary has to try all possible P key combination for a given set of touch points; similarly, an adversary has to try n -permutations of 10 keys for PIN authentication on random keyboards.

Unlike Digital Lock, the random digits of NomadiKey++ can be added at any point during authentication, meaning an adversary cannot distinguish random digits from real PIN digits based on the touch position and order. In NomadiKey++, the adversary still has to decide which digits belong to the user's secret for all possible keyboard configurations of NomadiKey.

Security under shoulder-surfing attacks. Our model for shoulder-surfing attacks allows an adversary to identify the exact keys touched in NomadiKey and random keyboards, completely revealing the authentication secret. NomadiKey++ is the only mechanism that provides a non-trivial security coefficient. NomadiKey++ uses vibrations during authentication to communicate random extra digits to the user, which are entered together with the real PIN during authentication. A shoulder-surfing adversary cannot distinguish between real and random PIN digits. Because of this, the security coefficient for NomadiKey++ under shoulder-surfing remains G_f^{n+f} .

4. Empirical evaluation

In this section, we present results of our empirical evaluation of NomadiKey and NomadiKey++. We complete our security analysis by assessing the value of the parameter P and we compare the usability of NomadiKey, NomadiKey++, classic PIN keyboards, and random PIN keyboards using prototypes we developed for each mechanism.

4.1. Security Evaluation

To complete our security evaluation of NomadiKey and NomadiKey++, we evaluate the values of P empirically. Recall that P is the number of possible key combinations given

a set of touch positions. To evaluate P , we generate up to 10^5 distinct random secrets out of the $10!/(10-d)!$ possible secrets with d distinct keys, for d varying from 1 to 7. We then generate one hundred different keyboard layouts for each secret using Algorithm 1 with $\alpha = 2$, ensuring each row (column) is at least two buttons wide (high). Finally, we simulate a computer vision attack on each of the 10^7 (secret, layout) pairs to estimate the distribution of P .

Figure 3 shows the distribution of P . We observe that, for PINs with 4 distinct keys, the security coefficient of NomadiKey and NomadiKey++ is increased by more than 50 times in the median case. Vertical trends for $d = 1$ and $d = 2$ happen for touch positions where an adversary would have to try all possible d -key combinations, as for PIN authentication on random keyboards.

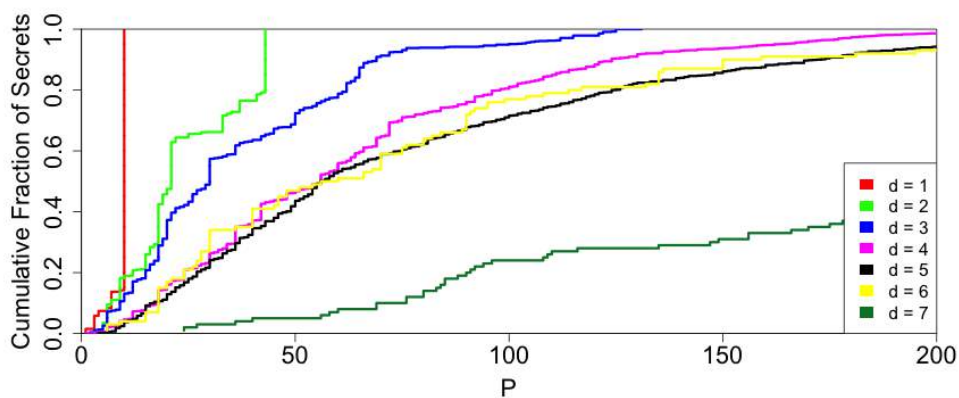


Figure 3. Empirical evaluation of the number P of possible key combinations in NomadiKey for a given set of touch positions.

4.2. Usability evaluation

To evaluate the usability of NomadiKey and NomadiKey++, we compare them to PIN authentication on classic and random keyboards. We measure usability as the *authentication delay*, how long it takes for users to authenticate. We implemented the four authentication mechanisms in an Android application. We considered PINs of four digits, based on average secret length of 4.5 digits found in previous work [Harbach et al. 2014].

We asked volunteers to authenticate in our developed application using each of the four authentication mechanisms. For each mechanism, the user was presented with five different random secrets. The user authenticated three times with each of the five secrets for a total of 15 authentications per mechanism. The tests were performed with 20 volunteers, 10 male and 10 female, using two devices: an LG G3 and an LG G4, both devices have screens of 5.5”.

Figure 4 shows authentication delay for NomadiKey. As expected, authentication delay for NomadiKey is a middle ground between traditional and random PIN authentication. We note that authentication times for NomadiKey are closer to those of random PINs than classic PINs. This is because, besides its nomadic nature, keys on NomadiKey are smaller than those used in other keyboards. Having smaller keys allows NomadiKey to increase security, as keys can be better spread on the screen, but it makes it harder for users to reach and press keys, decreasing usability.

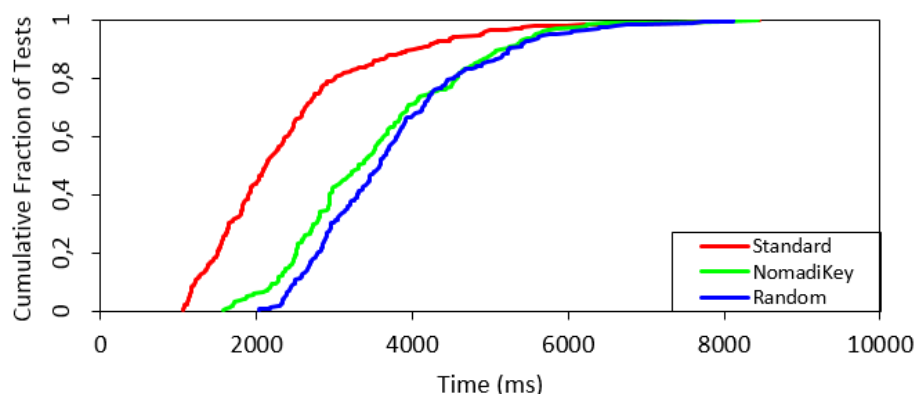


Figure 4. Usability of NomadiKey and PIN authentication.

Figure 5 shows results for NomadiKey++. It can be noted that authentication delays on NomadiKey++ are much higher than authentication delays on other authentication mechanisms (Figure 4). There are mainly two reasons for this. First, PINs entered for NomadiKey++ are longer (6 digits instead of 4) because users must enter their PIN and the two random digits from NomadiKey++. Logically, longer PINs lead to higher authentication delays. Second, in NomadiKey++ the user often waits for all keys to be highlighted before he can authenticate. This process alone takes 4500 ms, with each key being highlighted for 400 ms. For the sake of comparison, we also show in Figure 5 the authentication delay of NomadiKey and NomadiKey++ without considering the highlighting period.

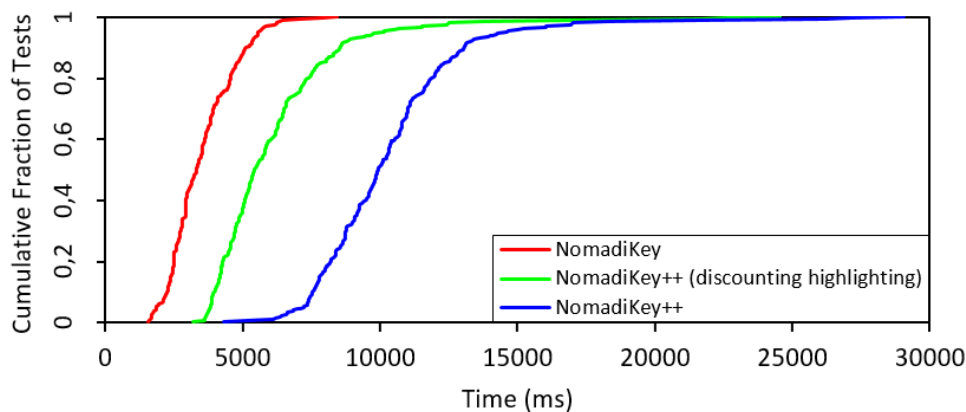


Figure 5. Usability of NomadiKey++.

Finally, we argue that the combination of NomadiKey and NomadiKey++ strikes a good tradeoff between security and usability. Even using smaller keys, the usability of NomadiKey remained at least as good as the usability of random keyboards. Being on average only 1.3s slower than traditional keyboards and with a higher security coefficient. While, despite presenting lower usability, NomadiKey++ presents a considerably higher security level, being the only mechanism with non-trivial security coefficient under shoulder-surfing attacks.

5. Conclusion

In this work, we extend NomadiKey, a mechanism for user authentication on smart devices. NomadiKey places keys in random absolute positions to improve security while

keeping the relative positions of keys to preserve usability. In order to increase NomadiKey's security even further, we proposed a security extension called NomadiKey++, that employs out-of-band channels during authentication to thwart shoulder-surfing adversaries. Our analytical and empirical evaluation of NomadiKey and NomadiKey++ indicate they present a good trade-off between security and usability, with NomadiKey++ presenting lower usability for the sake of much stronger security.

References

- Arif, A. S. and Mazalek, A. (2013). A Tap and Gesture Hybrid Method for Authenticating Smartphone Users. In *MobileHCI*.
- Aviv, A. J., Gibson, K., Mossop, E., Blaze, M., and Smith, J. M. (2010). Smudge Attacks on Smartphone Touch Screens. In *WOOT*.
- Bojinov, H. and Boneh, D. (2011). Mobile Token-based Authentication on a Budget. In *HotMobile*.
- Cotta, L., Fernandes, A. L., Melo, L. T. C., Saggioro, L. F. Z., Martins, F., Neto, A. L. M., Loureiro, A. A. F., Ítalo Cunha, and Oliveira, L. B. (2016). NomadiKey: User Authentication for Smart Devices based on Nomadic Keys. In *ICC*.
- Dell'Amico, M., Michiardi, P., and Roudier, Y. (2010). Password Strength: An Empirical Analysis. In *INFOCOM*.
- Egelman, S., Jain, S., Portnoff, R. S., Liao, K., Consolvo, S., and Wagner, D. (2014). Are You Ready to Lock? In *CCS*.
- Haque, S. M. T., Wright, M., and Scielzo, S. (2013). Passwords and Interfaces: Towards Creating Stronger Passwords by Using Mobile Phone Handsets. In *SPSM*.
- Harbach, M., von Zezschwitz, E., Fichtner, A., Luca, A. D., and Smith, M. (2014). It's a hard lock life: A field study of smartphone (un)locking behavior and risk perception. In *SOUPS*.
- Mock, K., Hoanca, B., Weaver, J., and Milton, M. (2012). Real-time Continuous Iris Recognition for Authentication Using an Eye Tracker. In *CCS*.
- Neto, A. L. M., Fernandes, A. L., Martins, F., Melo, L. T., Cotta, L., Saggioro, L. F. Z., Loureiro, A. A., and Oliveira, L. B. (2015). Teclanômade: Uma Solução de Autenticação para Usuários de Dispositivos Inteligentes baseada em Teclados Nômades. In *SBSeg*.
- Pan, S., Chen, A., and Zhang, P. (2013). Securitas: User Identification Through RGB-NIR Camera Pair on Mobile Devices. In *SPSM*.
- Rostami, M., Juels, A., and Koushanfar, F. (2013). Heart-to-Heart (H2H): Authentication for Implanted Medical Devices. In *CCS*.
- Wang, H., Lymberopoulos, D., and Liu, J. (2015). Sensor-based User Authentication. In *EWSN*.
- Yue, Q., Ling, Z., Fu, X., Liu, B., Ren, K., and Zhao, W. (2014). Blind Recognition of Touched Keys on Mobile Devices. In *CCS*.

Uma Abordagem Baseada em Redes Complexas para Análise de Depoimentos Legais

Thais G. Almeida¹, Fabíola G. Nakamura¹, Eduardo F. Nakamura¹

¹Universidade Federal do Amazonas (UFAM) – Manaus, AM – Brasil

{tga, fabiola, nakamura}@icomp.ufam.edu.br

Abstract. *In this paper, we present a methodology to identify influential entities and important relationships in legal testimonies. First, we model the testimonies as complex networks that represent the social relationships among the people that are referred to in the testimonies. Then, we use: (1) centrality metrics (e.g., eigenvector, betweenness) to identify important entities; (2) community detection algorithms to find correlated groups (social nuclei). In addition, we propose the use of the Shannon entropy to quantify the discrimination level of the centrality metrics. As a case study, we modeled five public plea agreements of the Lava Jato Operation. The results show that the entities that we identify as influential have become targets of investigations. We declare that this work is not intended to be used as legal evidence nor to determine the level of fairness of the testimonies and investigations. We simply present a social analysis that is based on the topological structures of the networks that represent testimonies, whether or not those testimonies represent the truth.*

Resumo. *Neste trabalho, apresentamos uma abordagem para identificar entidades e relacionamentos influentes em depoimentos legais. Como estudo de caso, modelamos cinco delações públicas da operação Lava Jato como redes (complexas), a fim de representar as relações sociais entre as pessoas citadas nos depoimentos. Para identificar entidades importantes, utilizamos medidas de centralidade (e.g., eigenvector, betweenness) selecionadas com base na entropia de Shannon. Os relacionamentos influentes foram detectados pelo algoritmo de Louvain. Nossos resultados mostram que os nós (pessoas) identificados como influentes nas redes se tornaram alvo de investigações. Os autores declaram que não são objetivos deste trabalho servir de evidência legal ou determinar o grau de veracidade dos testemunhos e justiça das investigações. O trabalho simplesmente apresenta uma análise social baseada nas estruturas topológicas das redes que representam depoimentos, quer esses depoimentos representem a verdade ou não.*

1. Introdução

Redes complexas consistem de grafos cuja estrutura topológica é irregular, não trivial e evolui dinamicamente ao longo do tempo [Boccaletti et al. 2006]. Tais redes são utilizadas para representar e investigar diferentes cenários, como a disseminação de doenças [Brandão and Moro 2016], o comportamento social online [Kossinets and Watts 2009] e a criminalística [Rostami and Mondani 2015].

A partir de características das conexões entre entidades de uma rede complexa, é possível identificar personagens chaves do contexto considerado. Para tanto, podem ser

utilizadas medidas de centralidade (e.g., *betweenness*) e transitividade (e.g., *local clustering coefficient*). A ideia por trás dessas medidas é intuitiva, entretanto suas interpretações devem ser realizadas com cuidado, uma vez que nem sempre a medida escolhida é discriminativa para compreender uma rede. Se por um lado o alto grau de um nó sugere sua importância em uma rede, isto pode não ser observado em outras redes [Campana 2016].

Quanto ao cenário criminalístico, a análise de redes é considerada uma ferramenta chave da inteligência criminal desde os anos 1970 [Masys 2013]. Contudo, tal análise é desafiadora, pois: (i) as bases de dados em geral são limitadas, em razão da sensibilidade dos dados [Rostami and Mondani 2015]; (ii) relatórios criminais frequentemente apresentam contradições, erros de digitação e *bias* dos envolvidos [Morselli 2013]; e (iii) nós ou arestas ausentes podem levar a interpretações erradas sobre a rede [Campana 2016].

A Operação Lava Jato, deflagrada em 2014 pela Polícia Federal do Brasil, tem como objetivo investigar a prática de crimes financeiros e desvio de recursos públicos. Para incentivar criminosos a colaborarem com as investigações, são firmados acordos de leniência (delações premiadas), nos quais em troca de informações criminosos podem ter suas penas reduzidas ou até mesmo extintas¹. Nesse contexto, a identificação de entidades influentes é importante, uma vez que a partir de informações presentes nas delações premiadas, as autoridades policiais podem direcionar suas investigações. Além disso, o forte interesse da sociedade em relação à Operação Lava Jato e a disponibilidade pública de delações motivam a avaliação destes documentos.

As principais contribuições desse trabalho são: (i) uma abordagem de redes complexas para identificar entidades influentes por meio de medidas de centralidade; (ii) a utilização da entropia de *Shannon* para selecionar quais medidas de centralidade são mais discriminativas para determinar entidades influentes; e (iii) detecção de comunidades para verificar se os agrupamentos refletem alguma organização social real. Embora o contexto utilizado sejam as delações da operação Lava Jato, ressaltamos que os resultados encontrados refletem os relatos dos delatores, sejam estes verídicos ou não, tendenciosos ou não. É importante ressaltar que não são objetivos deste trabalho: (i) servir de evidência legal; (ii) determinar o grau de veracidade dos testemunhos; (iii) determinar o grau de justiça das investigações. O trabalho simplesmente apresenta uma análise social baseada nas estruturas topológicas das redes das delações em questão.

O restante deste trabalho está organizado como segue: a seção 2 discute trabalhos relacionados e a seção 3 descreve a metodologia utilizada. Os resultados são apresentados na seção 4 e a seção 5 descreve as conclusões, os desafios e as direções futuras.

2. Trabalhos Relacionados

Técnicas de análise de redes são utilizadas com o objetivo de oferecer novas perspectivas de como visualizar e interpretar dados criminais complexos. A detecção de comunidades em grafos, por exemplo, é uma técnica utilizada para um maior compreensão sobre a organização do sistema representado, bem como sobre sua função. Calderoni and Piccardi [2014] aplicaram métodos de análise de comunidade em uma rede contendo integrantes de famílias de máfias italianas, com objetivo de explorar a relevância de subgrupos em redes criminais. Para tanto, os autores utilizaram o algoritmo de *Louvain* [Blondel et al. 2008] para determinar comunidades e métricas (e.g., *variation of information*) para compará-las.

¹<http://lavajato.mpf.mp.br/perguntas-e-respostas>

No trabalho de Rostami and Mondani [2015], os autores utilizaram três bases de dados sobre uma mesma gangue de rua para construir redes e as compararam em relação a diferentes técnicas (visualização de redes, similaridade de redes e medidas de redes). Como resultado, os autores ressaltaram que as interpretações devem ser cuidadosas, já que dependendo da base e da medida utilizada, mesmos indivíduos podem possuir importâncias diferentes. Bright et al. [2012] e Morselli [2010] estudaram o cenário do narcotráfico. Morselli investigou o posicionamento de indivíduos em uma rede para verificar quais deles estão em posições vulneráveis e/ou estratégicas. Já Bright et al. analisaram a viabilidade da utilização de comentários de jurados como base de dados para aplicar técnicas de análise de redes. Em ambos os trabalhos, foram utilizadas duas medidas de centralidades: *degree* e *betweenness*.

Medidas de centralidade quantificam a importância de nós em redes sob diferentes aspectos. O grau ponderado, por exemplo, corresponde à soma dos pesos das arestas incidentes em um vértice v [Beveridge and Shan 2016]. Já a medida *betweenness*, representa o número de caminhos mínimos que passam por um vértice [Otte and Rousseau 2002]. A medida *closeness* corresponde a distância de um vértice v em relação a todos os outros vértices da rede [Freeman 1978]. As medidas *eigenvector* e *pagerank* consideram que um nó central é aquele que está conectado a outros nós também centrais [Bonacich 2007].

Nos trabalhos de Mancuso [2014] e Morselli and Savoie-Gargiso [2014] são estudadas redes criminais ligadas ao tráfico humano. Em Mancuso, são aplicadas técnicas de análise de redes para determinar o papel de senhoras (*madams*) em um esquema de tráfico sexual nigeriano. Para determinar a influência das *madams*, mulheres que escravizam meninas, foi utilizada a medida *betweenness*. Os resultados confirmaram a importância das *madams* nessas redes, embora nem todas elas sejam igualmente centrais. No trabalho de Morselli and Savoie-Gargiso, os autores investigaram aspectos como a coerção, controle e colaboração em uma rede de prostituição do Canadá. Para tanto, são utilizadas as medidas *degree*, *betweenness* e *clustering coefficient*. Como resultado, os autores destacaram que embora prostitutas sejam alvo de coerção e controle, algumas delas possuem posições privilegiadas nas redes, atuando como colaboradas do esquema de tráfico.

Em Liu et al. [2012] e Snijders and Baerveldt [2003], são analisadas redes criminais compostas por adolescentes delinquentes. Liu et al. propuseram um modelo baseado no equilíbrio de Nash, para identificar a personagem chave dessas redes criminais. Como resultado, foi verificado que os adolescentes que exercem um papel chave nas redes são homens, possuem pais com pouco nível de educação, estão pouco ligados a religiões e se sentem socialmente excluídos. Adicionalmente, estes jovens ainda que não sejam criminalmente ativos, podem exercer um papel chave na rede em termos da medida *betweenness*. Snijders and Baerveldt aplicaram métodos de Monte Carlo e redes de Markov para modelar a evolução de redes. Como estudo de caso, foi utilizada uma rede representando adolescentes com comportamento delincente. Os resultados evidenciaram que há um efeito de similaridade entre o comportamento delincente e a evolução das amizades: um alto grau de delinquência implica em um efeito positivo em relação a formação de conexões (amizades), mas também na sua dissolução.

Este trabalho diferencia-se dos demais por basear suas análises em medidas de centralidade selecionadas a partir da entropia de *Shannon*. Por meio da entropia, é possível verificar quais medidas são mais discriminativas para identificar indivíduos in-

fluentes em depoimentos. A entropia de *Shannon* pode ser definida como uma medida para quantificar a incerteza de uma distribuição p [Lesne 2014]. O valor da entropia é máximo quando a distribuição p é uniforme. Seja x uma variável aleatória, com valores pertencentes a um conjunto finito χ , a entropia normalizada de x é formulada como:

$$H(\chi) = -\frac{\sum_{x \in \chi} p(x) \log p(x)}{\log |\chi|}. \quad (1)$$

3. Metodologia Proposta

A metodologia utilizada neste trabalho é composta pelas seguintes etapas: (i) transcrição das delações premiadas para arquivos de textos; (ii) modelagem das redes complexas baseadas nas ocorrências conjuntas das entidades em trechos das delações; (iii) detecção de comunidades nas redes complexas; e (iv) identificação de entidades influentes, a partir de medidas de centralidade. Nas subseções que seguem, detalhamos estas etapas.

3.1. Base de Dados

A base de dados utilizada neste trabalho é composta por cinco delações premiadas homologadas pelo Supremo Tribunal Federal entre os anos de 2014 e 2017. Os depoentes das delações analisadas são:

1. Paulo Roberto Costa (<https://goo.gl/x0vo7z>);
2. Alberto Youssef (<https://goo.gl/MSLpBS>);
3. Nestor Cerveró (<https://goo.gl/cocruK>);
4. Delcídio do Amaral (<https://goo.gl/ZjIV1I>);
5. Cláudio Melo Filho (<https://goo.gl/pUvNRh>).

As delações premiadas são disponibilizadas à população em documentos no formato de arquivos PDF. Como os documentos foram digitalizados, há presença de ruídos que podem ocasionar a deformação de caracteres, dificultando assim qualquer análise sobre os dados. Embora existam ferramentas online que realizam esta tarefa, elas não apresentaram bom desempenho em razão da qualidade da digitalização das delações. Desta forma, a conversão foi feita manualmente.

3.2. Modelagem das Redes Complexas

Modelamos as redes complexas das delações premiadas como grafos não direcionados $G(V, E)$, onde V corresponde ao conjunto de vértices $\{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ e E corresponde ao conjunto de arestas $\{e_1, e_2, \dots, e_k\}$ do grafo. Os vértices referem-se às pessoas físicas que tiveram seus nomes citados nas delações. As arestas referem-se à ocorrência conjunta dessas pessoas em trechos das delações, e seu peso é determinado pela quantidade dessas ocorrências conjuntas. Como os delatores estão sempre relacionados com as outras entidades de seus depoimentos, estes são, por definição, entidades relevantes sempre identificadas pelas análises de redes complexas. Por esta razão, o delator é excluído do conjunto de vértices de sua própria delação, podendo, entretanto, aparecer na delação de outrem. Após a modelagem das redes complexas, observamos que haviam alguns componentes desconexos no grafo que representavam entidades isoladas, isto é, que não ocorreram conjuntamente com nenhuma outra, ou entidades que ocorreram com outras, mas ambas não se relacionaram com nenhuma outra entidade da rede. Os componentes desconexos foram eliminados por não representarem informação pertinente.

3.3. Detecção de Comunidades

Após a modelagem e construção das redes complexas das delações, aplicamos o algoritmo de *Louvain* para identificar comunidades nessas redes. Com isso, buscamos verificar se os agrupamentos encontrados pelo algoritmo, refletiam algum tipo organização social.

3.4. Identificação de Entidades Influentes

Para avaliar a qualidade, em termos de capacidade discriminante, de cada métrica de centralidade, propomos o uso da entropia normalizada de *Shannon*. Neste caso, cada métrica é transformada em uma distribuição de probabilidade discreta (pdf) tal que: (1) cada classe da pdf é um vértice; (2) o valor da métrica é normalizado pela soma total. Desta forma, a soma de todas as classes da pdf é sempre um (requisito para uma pdf). A seguir, utilizamos a entropia normalizada de *Shannon* para determinar as métricas mais discriminantes. Neste caso, quanto maior a entropia de uma métrica, mais uniforme é a sua distribuição junto aos vértices da rede. Portanto, quanto menor a entropia, mais discriminante é a métrica em questão, pois entropia igual a **zero** refere-se ao caso determinístico, enquanto entropia igual a **um** refere-se a distribuição uniforme.

Tabela 1. Entropia média das medidas de centralidade.

Medida de Centralidade	Valor da Entropia
<i>Betweenness</i>	0.739
<i>Closeness</i>	0.996
<i>Eigenvector</i>	0.758
<i>Pagerank</i>	0.916
Grau Ponderado	0.862

Como é possível observar na tabela 1, as medidas de centralidade com menor entropia, considerando todas as redes complexas, foram *betweenness*, *eigenvector* e o grau ponderado respectivamente. Assim, utilizamos estas três medidas para determinar entidades influentes. Embora as demais medidas tenham apresentado entropia elevada, elas descrevem propriedades interessantes sobre as redes. Por exemplo, o elevado valor da entropia para a medida *closeness* indica que os vértices estão interligados a todos os outros por um número pequeno de caminhos, o que sugere que é necessária uma quantidade de tempo pequena para uma informação se espalhar de um nó para todos os outros. Entretanto, a alta entropia da medida *closeness* significa que todos os nós possuem valores muito próximos, sendo esta, uma métrica pouco discriminante.

4. Resultados

Esta seção apresenta a análise da influência de entidades em uma rede complexa gerada a partir da união das cinco redes provenientes de delações. Adicionalmente, analisamos alguns aspectos das comunidades identificadas nessas redes. Ressaltamos que os resultados encontrados são fruto da análise estrutural de redes provenientes de depoimentos, isto é, as informações encontradas refletem tão somente a narrativa dos depoimentos.

4.1. Análise das Entidades Influentes Identificadas

Para identificar as entidades mais influentes, definimos o *score* $r(v)$, normalizado, que pondera as três métricas de centralidade mais discriminantes de cada vértice v :

$$r(v) = \sqrt[3]{BE \times EV \times GP} \quad (2)$$

onde BE é o *betweenness*, EV o *eigenvector* e GP o grau ponderado (todos normalizados).

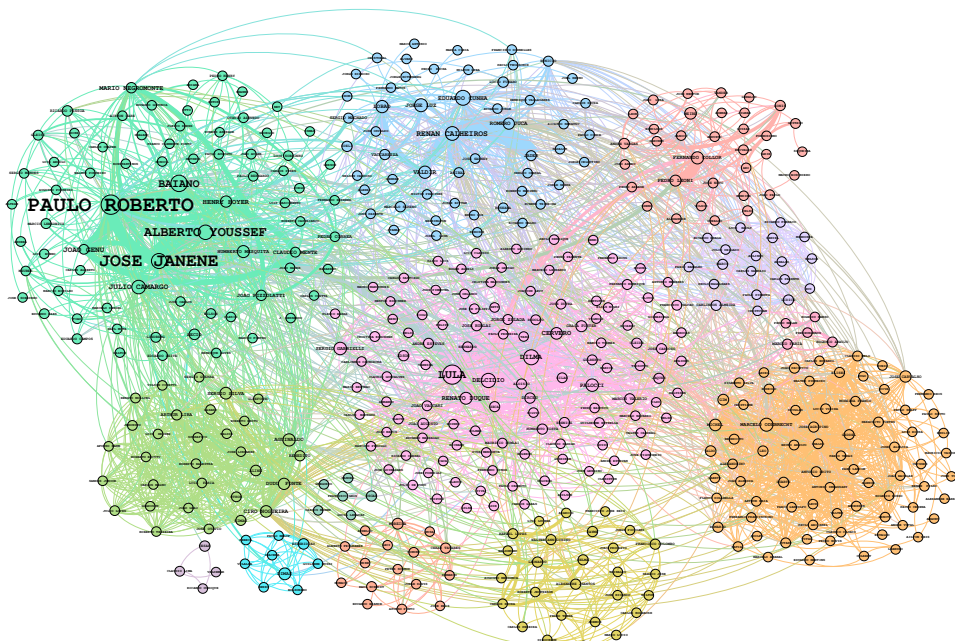


Figura 1. Rede Complexa gerada a partir da união das redes complexas das cinco delações premiadas. O tamanho dos vértices representam seus valores de *betweenness*, enquanto o tamanho de seus rótulos representam os valores da medida *eigenvector*.

Como as cinco delações foram narradas por depoentes que ocupavam posições distintas (doleiros, presidentes de empresas e políticos), a partir da união dessas delações é possível analisar o esquema investigado sob diferentes perspectivas, além de reduzir o viés dos depoentes sobre os fatos relatados. A rede complexa da figura 1 possui um total de 468 vértices e 2749 arestas. A análise estrutural dessa rede indica que há 15 entidades-chave nas cinco delações consideradas. A tabela 2 mostra a situação atual destas quinze entidades mais influentes que identificamos. Dentre elas, somente uma não foi denunciada pelas autoridades (Jose Janene), uma vez que já faleceu. As demais entidades, estão sob investigação ou já foram condenadas. Desta forma, é possível verificar que nossa abordagem de redes complexas encontrou entidades que de fato exerciam influência no esquema investigado.

Em relação a medida *betweenness*, as entidades mais influentes são Paulo Roberto Costa, Luiz Inácio Lula da Silva e Fernando Baiano, respectivamente. Estas entidades representam vértices que atuam como pontes de comunicação entre diferentes partes da rede, isto é, constituem entidades com grande controle na rede, uma vez que muitas informações passam por elas. As entidades com maior valor para a medida *eigenvector* são Jose Janene, Paulo Roberto Costa e Alberto Youssef, respectivamente. Estas entidades

representam vértices que possuem conexões com entidades importantes, o que implica no aumento das suas próprias influências.

Tabela 2. Situação atual das entidades influentes identificadas e posição segundo as medidas de centralidade *betweenness* (BE), *eigenvector* (EV) e grau ponderado (GP).

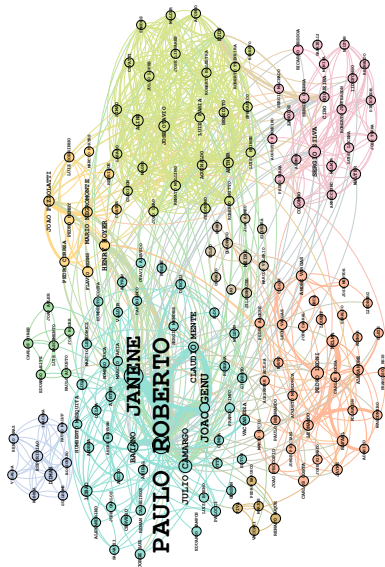
Entidades Influentes	Situação	Posição (ranking)			Score
		BE	EV	GP	
Paulo Roberto Costa	condenado	1.000 (1 ^o)	0.886 (2 ^o)	1.000 (1 ^o)	0.960
Jose Janene	falecido	0.562 (4 ^o)	1.000 (1 ^o)	0.821 (2 ^o)	0.773
Alberto Youssef	condenado	0.500 (7 ^o)	0.690 (3 ^o)	0.520 (5 ^o)	0.564
Luiz Inácio Lula da Silva	réu	0.975 (2 ^o)	0.303 (8 ^o)	0.590 (4 ^o)	0.558
Fernando Baiano	condenado	0.700 (3 ^o)	0.401 (5 ^o)	0.473 (7 ^o)	0.510
Renan Calheiros	réu	0.429 (9 ^o)	0.259 (10 ^o)	0.807 (3 ^o)	0.447
Dilma Rousseff	investigada	0.557 (5 ^o)	0.154 (18 ^o)	0.448 (9 ^o)	0.337
Nestor Cerveró	condenado	0.210 (23 ^o)	0.284 (9 ^o)	0.509 (6 ^o)	0.312
Júlio Camargo	condenado	0.408 (10 ^o)	0.229 (13 ^o)	0.289 (24 ^o)	0.300
Delcídio do Amaral	condenado	0.479 (8 ^o)	0.115 (27 ^o)	0.389 (10 ^o)	0.278
Renato Duque	condenado	0.240 (20 ^o)	0.246 (12 ^o)	0.331 (18 ^o)	0.269
Henry Hoyer	investigado	0.178 (28 ^o)	0.314 (7 ^o)	0.309 (19 ^o)	0.258
Valdir Raupp	réu	0.280 (15 ^o)	0.178 (15 ^o)	0.295 (22 ^o)	0.245
Ciro Nogueira	réu	0.206 (26 ^o)	0.175 (16 ^o)	0.373 (11 ^o)	0.237
Romera Jucá	investigado	0.169 (30 ^o)	0.164 (17 ^o)	0.470 (9 ^o)	0.235

Quanto ao grau ponderado, as entidades com maior influência são Paulo Roberto Costa, Jose Janene e Renan Calheiros, o que implica que estes vértices além de possuírem muitas conexões, detêm uma relação forte com sua vizinhança. Por fim, as entidades que possuem maior influência relativa às três medidas de centralidade são Paulo Roberto Costa, Jose Janene e Alberto Youssef. Estes vértices representam entidades que se relacionam fortemente com sua vizinhança, além de estarem interligados com entidades também influentes. Adicionalmente, caso esses vértices fossem retirados, a comunicação entre diferentes partes da rede seria prejudicada.

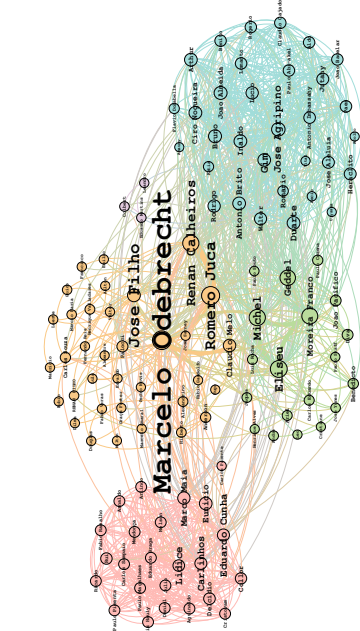
4.2. Análise das Comunidades Identificadas

A figura 2 apresenta as redes complexas das delações que compõe nossa base de dados. Os agrupamentos de vértices de mesma cor representam as comunidades identificadas. De forma geral, as comunidades presentes nas redes refletem esquemas de investigados ou integrantes de uma mesmo partido político ligados a fatos que os delatores descreveram.

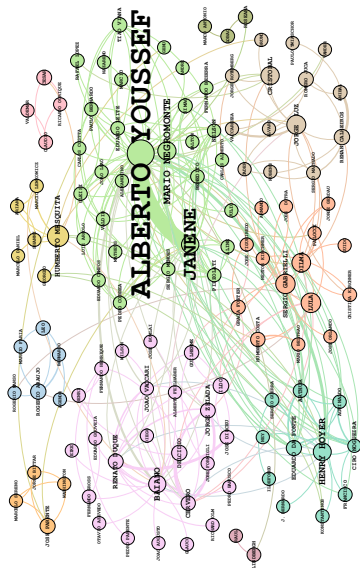
Quanto aos agrupamentos de entidades pertencentes a partidos políticos, estes podem ser observados na comunidade verde das delações de Paulo Roberto Costa, Cláudio Melo Filho, Nestor Cerveró e nas comunidades amarela e verde da delação de Alberto Youssef. Os partidos implicados nessas comunidades são PMDB (Partido do Movimento Democrático Brasileiro), PP (Partido Progressista) e PT (Partido dos Trabalhadores).



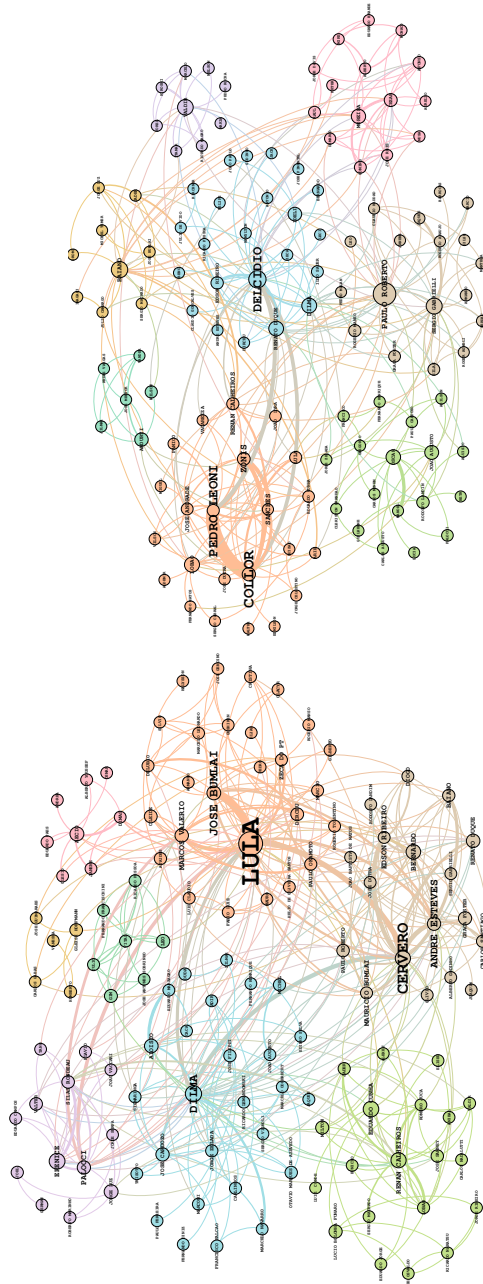
(c) Delação de Alberto Youssef.



(b) Delação de Cláudio Melo Filho.



(a) Delação de Paulo Roberto Costa.



(e) Delação de Nestor Cerveró.

(d) Delação de Delcídio do Amaral.

Figura 2. Redes Complexas das delações premiadas de Paulo Roberto Costa, Alberto Youssef, Nestor Cerveró, Delcídio do Amaral e Cláudio Melo Filho.

As demais comunidades das redes da figura 2 são referentes a esquemas de repasses de valores a políticos. Por exemplo, a comunidade laranja da delação de Alberto Youssef concentra entidades que participaram de um esquema ilícito relacionado a uma rede de postos de gasolina. Além de entidades que prestavam serviços para o declarante. É importante ressaltar que mesmo que uma entidade esteja presente em uma dessas comunidades de esquemas de repasses de valores, ela pode não ter nenhuma relação com tal esquema. Isso pode ser reflexo da forma como o algoritmo de *Louvain* agrupa os vértices.

Na figura 2 o tamanho do vértice representa seu valor de *betweenness* e o tamanho de seu rótulo equivale ao valor de *eigenvector*. É interessante observar que na rede de Paulo Roberto Costa, a entidade que com maior influência é Alberto Youssef. Já na rede do próprio Alberto Youssef, a entidade com maior influência é Paulo Roberto Costa. Isto sugere uma forte ligação entre essas duas entidades. Adicionalmente, ambas estão conectadas fortemente com Jose Janene, o que se reflete nos resultados da subseção anterior.

Por meio das redes complexas que modelam as delações, é possível verificar que vértices que se referem à mesma entidade possuem influências variadas. Como exemplo, destacamos a entidade Luiz Inácio Lula de Silva e Renan Calheiros que apareceram em todas as redes, porém com valores bem diferentes para as medidas de centralidade. Tal fato, foi também observado por Rostami and Mondani [2015].

5. Conclusões e Trabalhos Futuros

Neste trabalho apresentamos uma abordagem de redes complexas para identificar entidades influentes em depoimentos por meio de medidas de centralidade. Desta forma, autoridades policiais podem direcionar suas investigações para aqueles indivíduos que exercem papel chave nessas redes. Como estudo de caso, apresentamos redes complexas construídas a partir de delações premiadas provenientes da Operação Lava Jato. Adicionalmente, identificamos e analisamos comunidades nessas redes para verificar se elas refletiam algum tipo de organização social particular. Nossos resultados encontrados apresentam coerência com o histórico de pessoas denunciadas/indiciadas pelo Ministério Público e pela Procuradoria Geral da República.

Dentre os desafios deste trabalho, destacamos o processo de transcrição das delações premiadas, além de erros de grafia presentes nas delações. Além disso, tivemos que tratar os dados de forma cuidadosa, uma vez que envolvem nomes de figuras públicas. Como limitação, a análise estrutural das redes complexas modeladas refletem o testemunho dos declarantes. Portanto, a validade das análises estruturais e sociais apresentadas são dependentes da veracidade das informações contidas nos depoimentos. Além disso, há o viés, intencional ou não, do declarante. Neste trabalho pudemos constatar que a análise conjunta de vários depoimentos em uma única rede tende a mitigar o viés dos declarantes. Entretanto, a detecção de inconsistências, falácias e viés não foram alvo deste trabalho.

Como trabalho futuro pretendemos investigar novas técnicas para determinar vértices influentes em grafos, além de examinar técnicas para verificar a importância dos subgrupos de vértices que formam comunidades, para assim, aprofundar nossa análise em redes criminais. Outro trabalho futuro consiste na modelagem e análise de redes complexas para identificação de inconsistências, falácias e viés em depoimentos.

Referências

- Beveridge, A. and Shan, J. (2016). Network of thrones. *Math Horizons*, 23(4):18–22.
- Blondel, V., Guillaume, J.-L., Lambiotte, R., and Lefebvre, E. (2008). Fast unfolding of communities in large networks. *Journal of statistical mechanics: theory and experiment*, 2008(10):P10008.
- Boccaletti, S., Latora, V., Moreno, Y., Chavez, M., and Hwang, D. (2006). Complex networks: Structure and dynamics. *Physics reports*, 424(4):175–308.
- Bonacich, P. (2007). Some unique properties of eigenvector centrality. *Social networks*, 29(4):555–564.
- Brandão, M. and Moro, M. (2016). Social professional networks: A survey and taxonomy. *Computer Communications*, 100.
- Bright, D., Hughes, C., and Chalmers, J. (2012). Illuminating dark networks: A social network analysis of an Australian drug trafficking syndicate. *Crime, Law and Social Change*, 57(2):151–176.
- Calderoni, F. and Piccardi, C. (2014). Uncovering the structure of criminal organizations by community analysis: The infinito network. In *Proc. of 10th Int'l Conf. on Signal-Image Technology and Internet-Based Systems*, pages 301–308.
- Campana, P. (2016). Explaining criminal networks: Strategies and potential pitfalls. *Methodological Innovations*, 9:1–10.
- Freeman, L. (1978). Centrality in social networks conceptual clarification. *Social networks*, 1(3):215–239.
- Kossinets, G. and Watts, D. (2009). Origins of homophily in an evolving social network. *American journal of sociology*, 115(2):405–450.
- Lesne, A. (2014). Shannon entropy: A rigorous notion at the crossroads between probability, information theory, dynamical systems and statistical physics. *Mathematical Structures in Computer Science*, 24(03):240–311.
- Liu, X., Patacchini, E., Zenou, Y., and Lee, L.-F. (2012). Criminal networks: Who is the key player?
- Mancuso, M. (2014). Not all madams have a central role: analysis of a Nigerian sex trafficking network. *Trends in Organized Crime*, 17(1-2):66–88.
- Masys, A. (2013). Networks and network analysis for defence and security. In *Proc. of the Int'l Conf. on Advances in Social Networks Analysis and Mining*, pages 1479–1480.
- Morselli, C. (2010). Assessing vulnerable and strategic positions in a criminal network. *Journal of Contemporary Criminal Justice*, 26(4):382–392.
- Morselli, C. (2013). *Crime and Networks*. Routledge.
- Morselli, C. and Savoie-Gargiso, I. (2014). Coercion, control, and cooperation in a prostitution ring. *The ANNALS of the American Academy of Political and Social Science*, 653(1):247–265.
- Otte, E. and Rousseau, R. (2002). Social network analysis: A powerful strategy, also for the information sciences. *Journal of information Science*, 28(6):441–453.
- Rostami, A. and Mondani, H. (2015). The complexity of crime network data: A case study of its consequences for crime control and the study of networks. *PloS One*, 10(3):e0119309.
- Snijders, T. and Baerveldt, C. (2003). A multilevel network study of the effects of delinquent behavior on friendship evolution. *Journal of mathematical sociology*, 27(2-3):123–151.

Como Desenvolvedores Usam Instruções Dinâmicas? Um Estudo em Ruby

Elder Rodrigues Jr, Ricardo Terra

Departamento de Ciência da Computação,
Universidade Federal de Lavras (UFLA), Brasil

elderjr@computacao.ufla.br, terra@dcc.ufla.br

Resumo. *As instruções dinâmicas, um dos recursos fornecidos pelas linguagens dinâmicas, permitem, em tempo de execução, executar strings como expressões, definir e invocar métodos dinamicamente, etc. Contudo, o uso exacerbado de tais instruções podem impactar negativamente no desempenho do programa, prejudicar a precisão de técnicas de análises estáticas no código e dificultar otimizações feitas pelo compilador. Neste trabalho, portanto, é investigado como os desenvolvedores usam as instruções dinâmicas baseado em dez projetos Ruby de código aberto. Os principais resultados foram: (i) em média, instruções dinâmicas correspondem a 0,53% do total de instruções e metade das instruções dinâmicas utilizadas correspondem ao uso de `send`; (ii) foi identificado que 897 das 1.856 instruções dinâmicas (48,3%) analisadas são viáveis de serem convertidas para códigos estáticos; (iii) foram identificados, classificados e ilustrados 23 cenários onde os desenvolvedores optam por instruções dinâmicas ao invés de estáticas; e (iv) instruções dinâmicas permitem que o desenvolvedor escreva, em poucas linhas, códigos que serão responsáveis por adaptar o software para diversos cenários.*

1. Introdução

Linguagens dinâmicas fornecem recursos que aceleram a codificação para tornar o processo de desenvolvimento mais produtivo [5]. As instruções dinâmicas, fornecidas por tais linguagens, permitem aos desenvolvedores, em tempo de execução, avaliar *strings* como expressões, definir e invocar métodos dinamicamente, etc.

O uso exacerbado das instruções dinâmicas pode ser indesejável para um projeto, pois prejudicam: (i) a precisão de técnicas de análises estáticas [1, 6, 7, 8]; (ii) legibilidade, facilidade de entendimento, manutenibilidade, etc. [12]; (iii) detecção antecipada de erros e otimizações feitas pelos compiladores [3]; (iv) precisão de algoritmos para inferência de tipos, o que pode esconder erros de tipos [13] ou erros arquiteturais [11]; e (v) recursos de uma IDE, tais como auto-completar e refatorações [12].

Esta iniciação científica, portanto, investiga como desenvolvedores utilizam instruções dinâmicas em 10 projetos Ruby de código aberto (o que totaliza mais de 500KLOC). O estudo empírico aborda as seguintes quatro questões de pesquisa:

1. *Com que frequência desenvolvedores utilizam instruções dinâmicas?* Em média, instruções dinâmicas correspondem a 0,53% do total de instruções em um projeto Ruby e praticamente 50% delas são instruções `send`.

2. *Qual a complexidade em se remover as instruções dinâmicas?* Foi identificado que 897 das 1.856 instruções dinâmicas (48,3%) podem ser facilmente convertidas para instruções estáticas. Essa porcentagem varia de 28,2% para o domínio de *Plug-ins para Rails* (o que é esperado devido a flexibilidade que *plug-ins* devem ter) a 62,6% e 64,2% para *Aplicações Web* e *Gerenciadores*, respectivamente.
3. *Quando desenvolvedores utilizam instruções dinâmicas?* Foram identificados, classificados e ilustrados 23 cenários onde os desenvolvedores optam pela utilização de instruções dinâmicas ao invés de estáticas, e.g., foi descoberto que desenvolvedores utilizam instruções dinâmicas para acessar métodos e atributos privados (20,4%), o que pode evidenciar falhas no projeto arquitetural.
4. *Por que desenvolvedores utilizam instruções dinâmicas?* De acordo com as análises feitas nas 1.856 instruções dinâmicas, foram encontradas as vantagens de um desenvolvimento mais rápido e com menos linhas de código. De fato, as instruções dinâmicas permitem com que o desenvolvedor escreva, em poucas linhas, códigos que serão responsáveis por adaptar o software para diversos cenários.

O restante deste documento está organizado como a seguir. Seção 2 discute o desenvolvimento do estudo empírico (questões de pesquisa, sistemas utilizados, metodologia, ferramentas, ameaças à validade, etc.). Seção 3 apresenta os trabalhos relacionados e a Seção 4 conclui o trabalho e lista as publicações resultantes desta iniciação científica.

2. Estudo empírico

2.1. Questões de pesquisa

Este estudo foi projetado para abordar as seguintes questões de pesquisa:

RQ #1 - *Com que frequência desenvolvedores utilizam instruções dinâmicas?*

RQ #2 - *Qual a complexidade em se remover as instruções dinâmicas?*

RQ #3 - *Quando desenvolvedores utilizam instruções dinâmicas?*

RQ #4 - *Por que desenvolvedores utilizam instruções dinâmicas?*

2.2. Instruções dinâmicas em Ruby

Cada uma das instruções dinâmicas analisadas neste artigo permitem definir e obter constantes dinamicamente (`const_set` e `const_get`, respectivamente), definir métodos (`define_method`), executar *string* como código, executar blocos com ou sem parâmetros (`instance_eval` e `instance_exec`, respectivamente) e invocar métodos (`send`). Outras linguagens também fornecem essas funcionalidades, embora com diferentes funções.

2.3. Sistemas analisados

A Tabela 1 apresenta os 10 sistemas considerados neste estudo, incluindo seus nomes, versões, linhas de código (LOC), número de arquivos *rb* e número de bibliotecas. O critério para a seleção dos 10 projetos foi os que possuíam o mais alto número de instruções dinâmicas dos 30 projetos Ruby com mais estrelas.¹ No total, foram analisados mais de 500 KLOC em 8.342 arquivos *rb*.

¹<https://github.com/search?l=&o=desc&q=language:Ruby+stars:>1&ref=advsearch&s=stars&type=-Repositories>, pesquisado em agosto de 2015.

Tabela 1. Sistemas Analisados

Projeto e versão	LOC	# de arquivos rb	# de Gems
Active Admin (v1.0.0.pre1)	6.054	154	42
diaspora* (v0.5.2.0)	15.269	376	128
Discourse (vlatestes-realease)	36.951	657	101
GitLab (v7.14.1)	29.345	574	137
Homebrew (8278b89)	133.322	3.429	4
Paperclip (v4.3.0)	3.081	59	34
Rails (v4.2.4)	55.530	849	82
RailsAdmin (v0.7.0)	4.624	111	48
Ruby (v2_2_3)	169.300	1.076	0
Spree (v3.0.4)	103.596	1.057	6

2.4. Suporte ferramental

Devido ao fato de a análise feita neste estudo ser manual, foi desenvolvida uma ferramenta – chamada *nodyna* – que auxilia na investigação das instruções dinâmicas de um modo mais organizado e efetivo.² A ferramenta realiza uma análise textual em todo o código fonte do projeto e possui as seguintes funcionalidades: (i) *setup*: a cada instrução dinâmica encontrada no projeto, é feita uma marcação padrão em forma de comentário no próprio código indicando que a instrução ainda não foi classificada; (ii) *show_locations*: lista os arquivos que possui a instrução pesquisada e que já foi marcada; (iii) *show_locations_without_classification*: lista os arquivos que possui a instrução pesquisada e que já foi marcada, mas ainda não foi classificada; e (iv) *show_classifications*: lista todas as classificações feitas e a quantidade de instruções que cada classificação possui.

2.5. RQ #1 - Com que frequência desenvolvedores utilizam instruções dinâmicas?

Nessa questão de pesquisa, o objetivo é de medir a frequência de uso das instruções dinâmicas em Ruby.

Metodologia: Comparou-se o número de características dinâmicas com o número total de recursos da linguagem nos sistemas analisados. Em tal contexto, recursos da linguagem são expressões, instruções e declarações (atribuições, chamadas de métodos, laços, etc.). Já características dinâmicas são invocações ou construções dinâmicas. Especificamente em Ruby, Como descrito na Seção 2.2, este estudo considera as seguintes funções: (i) *const_get*, (ii) *const_set*, (iii) *define_method*, (iv) *eval*, (v) *instance_eval*, (vi) *instance_exec* e (vii) *send*. Um exemplo é ilustrado na Listagem 1.

```

1 class Test
2   def bar
3     x = Z.new
4     if x.send(:foo)
5       y = 3
6     end
7   end
8 end

```

Listagem 1. Número de instruções dinâmicas

Nesse exemplo, existem sete tipos de instruções: (i) definição de classe na linha 1, (ii) definição de método na linha 2, (iii) instanciação do tipo Z na linha 3, (iv) atribuição

²A ferramenta, seu código fonte e os sistemas analisados estão publicamente disponíveis em: <https://github.com/rterrabh/nodyna>

para a variável x na linha 3, (v) condicional na linha 4, (vi) invocação dinâmica do método `foo` também na linha 4, e (vii) atribuição para a variável y na linha 5. Portanto, a relação entre o número de instruções dinâmicas com o uções nesse código é de $1/7 = 14,3\%$.

Resultados: Conforme reportado na Tabela 2, em média instruções dinâmicas correspondem a 0,53% do total de instruções em projeto Ruby. Contudo, existem sistemas com um número de instruções dinâmicas relativamente alto (em torno de 1%), tais como Active Admin, Paperclip e RailsAdmin. Paperclip, por exemplo, é um aplicativo para gerenciar *uploads* utilizando a biblioteca ActiveRecord, o que necessita de ser bem flexível. Baseado neste estudo, quanto mais um sistema deva ser adaptável, mais instruções dinâmicas ele possuirá.

A instrução `send` é responsável por quase 50% das instruções dinâmicas. Tal método permite chamar dinamicamente qualquer função recebendo como parâmetro uma variável que contém o nome da função a ser chamada. Por exemplo, é possível escrever `a = 2.send('*', 3)` ao invés de `a = 2 * 3`. Isso facilita para os programadores chamarem funções que são construídas em tempo de execução.

Projeto	# inst.	# inst. dinâmicas	eval	instance_exec	instance_eval	define_method	const_set	const_get	send
Active Admin	8.978	112 (1,25%)	2 (1,79%)	33 (29,46%)	1 (0,89%)	11 (9,82%)	1 (0,89%)	2 (1,79%)	62 (55,36%)
diaspora*	34.931	88 (0,25%)	1 (1,14%)	1 (1,14%)	29 (32,95%)	2 (2,27%)	0 (0,00%)	1 (1,14%)	54 (61,36%)
Discourse	64.897	216 (0,33%)	25 (11,57%)	2 (0,93%)	2 (0,93%)	37 (17,13%)	0 (0,00%)	2 (0,93%)	148 (68,51%)
GitLab	52.102	59 (0,11%)	1 (1,69%)	0 (0,00%)	0 (0,00%)	4 (6,78%)	1 (1,69%)	3 (5,09%)	50 (84,75%)
Homebrew	169.676	78 (0,05%)	0 (0,00%)	0 (0,00%)	15 (19,23%)	16 (20,51%)	2 (2,56%)	3 (3,85%)	42 (53,85%)
Paperclip	4.714	67 (1,42%)	1 (1,49%)	0 (0,00%)	2 (2,99%)	5 (7,46%)	0 (0,00%)	5 (7,46%)	54 (80,60%)
Rails	84.408	428 (0,51%)	8 (1,87%)	22 (5,14%)	16 (3,74%)	71 (16,59%)	11 (2,57%)	24 (5,61%)	276 (64,48%)
RailsAdmin	7.998	76 (0,95%)	0 (0,00%)	0 (0,00%)	21 (27,63%)	4 (5,26%)	0 (0,00%)	1 (1,32%)	50 (65,79%)
Ruby	248.522	544 (0,22%)	93 (17,10%)	29 (5,33%)	166 (30,51%)	49 (9,01%)	63 (11,58%)	39 (7,17%)	105 (19,30%)
Spree	103.596	188 (0,18%)	1 (0,53%)	8 (4,26%)	6 (3,19%)	17 (9,04%)	0 (0,00%)	1 (0,53%)	155 (82,45%)
Total	779.822	1.856	132	95	258	216	78	81	996

2.6. RQ #2 - Qual a complexidade em se remover as instruções dinâmicas?

A complexidade de remoção da instrução dinâmica é um fator crucial para este estudo, uma vez que a necessidade do uso da instrução dinâmica está ligada diretamente a sua complexidade de remoção. Quanto mais fácil é remover uma instrução dinâmica, menos necessária ela é.

Metodologia: Com o auxílio do `nodyna`, cada uma das 1.856 instruções dinâmicas foi classificada nos seguintes níveis de complexidade de remoção: *trivial* (mudanças locais e sem novas instruções), *baixo* (mudanças locais na classe e sem novas instruções), *médio* (mudanças locais na classe com adição de novas instruções) e *alto* (procedimentos complexos e que requerem mudanças em muitas classes ou em arquivos externos).

Resultados: A Tabela 3 apresenta os resultados. Em um contexto geral, o número de instruções que são viáveis³ para remoção é de 48%. Em uma análise por domínio, os sistemas analisados foram agrupados da seguinte forma: *Aplicação Web* (Discourse, Diaspora e Spree), *Gerenciadores* (GitLab e Homebrew) e *Plug-ins para Rails*.

Foram criados grupos isolados para o projetos *Ruby* e para o projeto *Rails*, pois esses projetos possuem um grande número de instruções dinâmicas e podem influenciar

³Foi adotada a terminologia “viáveis” para aquelas instruções dinâmicas que sua complexidade de remoção é *trivial*, *baixa* ou *média*.

Tabela 3. Análise das complexidades de remoção das instruções dinâmicas

		Active Admin	Diaspora*	Discourse	GitLab	Homebrew	Paperclip	Rails	RailsAdmin	Ruby	Spree	Total
const_get	Trivial	0	0	0	0	1	0	2	0	4	0	7 (0,38%)
	Baixa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0 (0,00%)
	Média	0	1	1	0	1	0	2	0	7	1	13 (0,70%)
	Alta	2	0	1	3	1	5	20	1	28	0	61 (3,29%)
const_set	Trivial	0	0	0	0	1	0	3	0	45	0	49 (2,64%)
	Baixa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0 (0,00%)
	Média	0	0	0	0	0	0	2	0	8	0	10 (0,54%)
	Alta	1	0	0	1	1	0	6	0	10	0	19 (1,02%)
define_method	Trivial	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0 (0,00%)
	Baixa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0 (0,00%)
	Média	4	2	32	3	14	1	37	3	37	6	139 (7,49%)
	Alta	7	0	5	1	2	4	34	1	12	11	77 (4,15%)
eval	Trivial	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1 (0,05%)
	Baixa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0 (0,00%)
	Média	0	1	1	0	0	0	0	0	3	0	5 (0,27%)
	Alta	2	0	24	0	0	1	8	0	90	1	126 (6,79%)
instance_eval	Trivial	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0 (0,00%)
	Baixa	0	24	0	0	0	0	0	0	8	1	33 (1,78%)
	Média	0	0	0	0	4	0	3	1	95	0	103 (5,55%)
	Alta	1	5	2	0	11	2	13	20	63	5	122 (6,57%)
instance_exec	Trivial	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0 (0,00%)
	Baixa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0 (0,00%)
	Média	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1 (0,05%)
	Alta	33	0	2	0	0	0	22	0	29	8	94 (5,07%)
send	Trivial	9	3	5	5	1	17	22	3	9	15	89 (4,80%)
	Baixa	4	25	9	6	0	7	29	1	22	44	147 (7,92%)
	Média	10	20	67	23	28	6	56	6	35	49	300 (16,16%)
	Alta	39	6	67	16	13	24	169	40	39	47	460 (24,78%)

bastante nos resultados dos demais. A porcentagem de complexidade alta para remoção das instruções dinâmicas em *Ruby* e *Rails* são de 49,8% e 63,6% respectivamente. Devido à flexibilidade que *plug-ins* devam ter, o domínio *Plug-ins para Rails* apresentou alta complexidade de remoção para 71,8% de suas instruções dinâmicas. Os domínios *Aplicações Web* e *Gerenciadores*, contudo, apresentam uma baixa taxa de instruções dinâmicas complexas de serem removidas (37,4% e 35,8%, respectivamente).

2.7. RQ #3 - Quando desenvolvedores utilizam instruções dinâmicas?

Essa questão de pesquisa tem como objetivo identificar, classificar e ilustrar os cenários onde os desenvolvedores utilizam instruções dinâmicas ao invés de estáticas.

Metodologia: Com o auxílio da ferramenta *nodyna*, investigou-se as 1.856 instruções dinâmicas dos sistemas analisados no intuito de identificar por que desenvolvedores optam por instruções dinâmicas.

Resultados: Foram identificados 23 cenários conforme pode ser observado na Tabela 4. Devido a restrições de espaço, este documento apresenta a sumarização dos resultados (Tabela 4) e uma discussão dos cenários relacionados a cada uma das instruções dinâmicas. No entanto, uma descrição detalhada e um exemplo de cada cenário pode ser encontrada em: http://www.dcc.ufla.br/~terra/papers/2017_ctic

- **const_get:** É mais utilizada para que métodos obtenham constantes de um modo mais flexível, uma vez que mais de 50% do uso de tal função está relacionada ao cenário CG-2 (*variáveis dinâmicas*). O cenário CG-1 (*valores estáticos*), que representa o mau uso da função, é responsável por 8,64% do uso de *const_get*.
- **const_set:** É mais utilizada para criar constantes a partir de valores estáticos. Isso indica que os desenvolvedores utilizam *const_set* de forma desnecessária. Ao invés de utilizarem tal função, basta declarar a constante normalmente.

Tabela 4. Cenários de uso de instruções dinâmicas

Instrução dinâmica	Cenário	Complexidade				Total
		Trivial	Baixo	Médio	Alto	
const_set	CG-1 (valores estáticos)	47	0	0	0	47 (2,53%)
	CG-2 (valores dinâmicos)	0	0	3	19	22 (1,19%)
	CG-3 (lista)	2	0	7	0	9 (0,48%)
const_get	CS-1 (valores estáticos)	7	0	0	0	7 (0,38%)
	CS-2 (valores dinâmicos)	0	0	5	37	42 (2,26%)
	CS-3 (lista)	0	0	8	24	32 (1,73%)
define_method	DM-1 (lista)	0	0	77	6	83 (4,47%)
	DM-2 (eventos)	0	0	62	71	133 (7,17%)
eval	EV-1 (definição de método)	1	0	2	14	17 (0,92%)
	EV-2 (valores dinâmicos)	0	0	0	70	70 (3,77%)
	EV-3 (métodos privados)	0	0	0	11	11 (0,59%)
	EV-4 (escoço)	0	0	0	21	21 (1,13%)
	EV-5 (definição de classe)	0	0	2	3	5 (0,27%)
	EV-6 (definição de variável)	0	0	1	7	8 (0,43%)
instance_eval	IEV-1 (acesso privado)	0	33	64	41	138 (7,44%)
	IEV-2 (definição de método)	0	0	38	7	45 (2,42%)
	IEV-3 (execução de bloco)	0	0	1	74	75 (4,04%)
instance_exec	IEX-1 (bloco sem parâmetros)	0	0	1	36	37 (1,99%)
	IEX-2 (bloco com parâmetros)	0	0	0	58	58 (3,13%)
send	SD-1 (métodos públicos)	88	0	0	0	88 (4,74%)
	SD-2 (lista)	1	2	116	67	186 (10,02%)
	SD-3 (variáveis dinâmicas)	0	9	141	342	492 (26,51%)
	SD-4 (métodos privados)	0	136	43	51	230 (12,39%)

- `define_method`: É muito utilizada para criação de métodos durante a execução do programa (invocação de métodos, invocação de método inexistente, etc.). Por outro lado, a criação de diversos métodos com sintaxe semelhante possui, na maioria dos casos, uma conversão fácil para código estático.
- `eval`: É comumente utilizada para fornecer mais flexibilidade, devido ao fato de que mais de 50% do uso está relacionado ao cenário *EV-2 (valores dinâmicos)*. Tal flexibilidade faz com que a conversão para código estático seja mais complexa (como observado nos resultados da maioria dos cenários em que praticamente todos possuem uma alta porcentagem de classificações com complexidade *alta*). Além disso, `eval` também é utilizado para deixar o desenvolvimento do software mais flexível, permitindo criação de classes, métodos e variáveis (22,73%) em tempo de execução. Finalmente, foi demonstrado que os desenvolvedores também utilizam `eval` para acessar métodos privados (8,33%), o que pode indicar violações na arquitetura planejada.
- `instance_eval`: É comumente utilizado para acessar variáveis e métodos privados. Como já mencionado, tal acesso pode indicar violações na arquitetura planejada, já que variáveis e métodos privados são acessados fora do contexto da classe em que pertencem.
- `instance_exec`: Desenvolvedores a utilizam para fornecer aos métodos mais flexibilidade, o que faz com que a conversão para códigos estáticos tenha alta complexidade.
- `send`: Foi possível identificar que 8,84% dessas instruções são utilizadas para chamar métodos públicos, o que indica o uso desnecessário da função. Também foi identificado que 23,09% do uso de `send` é para chamar métodos privados, o que pode indicar violações na arquitetura planejada.

2.8. RQ #4 - Por que desenvolvedores utilizam instruções dinâmicas?

A análise de vantagens e desvantagens das instruções dinâmicas permite que seja possível identificar o porquê dos desenvolvedores utilizarem tais instruções.

Metodologia: Com o suporte da ferramenta *nodyna*, buscou-se por todas as instruções analisadas neste estudo. Basicamente, para cada uma das 1.856 instruções dinâmicas, foram analisadas as potenciais razões que motivam os desenvolvedores a utilizarem as instruções dinâmicas.

Resultados: Foi possível identificar três principais razões para o uso das mesmas: (i) *flexibilidade*: instruções dinâmicas fornecem aos desenvolvedores a possibilidade de escreverem, em poucas linhas, códigos que são responsáveis em adaptar o código para diversos tipos de cenários. Por exemplo, identificou-se cenários em que as instruções dinâmicas foram utilizadas para permitir que o software opere em qualquer modelo de banco de dados; (ii) *tamanho*: a conversão de instruções dinâmicas para estática pode aumentar o tamanho do código em dezenas de linhas. Portanto, uma outra vantagem para o uso de instruções dinâmicas é o desenvolvimento do software de uma forma mais rápida; e (iii) *violações arquiteturais*: os desenvolvedores utilizam, em diversos momentos, as instruções dinâmicas para obterem acesso a variáveis e métodos privados utilizando `eval`, `instance_eval`, `instance_exec` e `send`. Isso pode indicar violações no projeto arquitetural e impactar na manutenibilidade, escalabilidade, portabilidade, etc. [11].

2.9. Discussão

Existem três observações complementares para se discutir. Primeira, foi identificado que em alguns cenários os desenvolvedores utilizam instruções dinâmicas para seguir um padrão estabelecido em *gems* (bibliotecas em Ruby) antigas. Nesses casos, a substituição para instruções estáticas é trivial. Segundo, desenvolvedores usualmente dependem das instruções dinâmicas para obterem acesso a variáveis e métodos privados. Isso pode indicar más decisões no projeto arquitetural, uma vez que se métodos e atributos estão sendo acessados fora do contexto de uma classe, então eles deveriam ser públicos. Terceiro, desenvolvedores usualmente definem métodos que recebem, através dos parâmetros, nomes de outros métodos que possivelmente serão chamados. Nesses casos, o uso das instruções dinâmicas (tal como `send`) deixa o desenvolvimento do software mais rápido, embora a complexidade de remoção dessas instruções oscile entre complexidade *média* e *alta*.

2.10. Ameaças à validade

É possível identificar duas ameaças à validade para este estudo. Em primeiro lugar, este estudo investiga o uso de instruções dinâmicas em 10 projetos Ruby. Como usual em estudos empíricos na área de engenharia de software, não é possível afirmar que o resultado apresentado neste trabalho será o mesmo para outros sistemas. Contudo, há heterogeneidade entre os projetos, uma vez que eles foram desenvolvidos por diferentes equipes. Em segundo lugar, as classificações das instruções dinâmicas foram feitas por um único desenvolvedor Ruby experiente (e também o primeiro autor deste estudo). Para mitigar tal ameaça, todos os arquivos e projetos utilizados neste estudo estão publicamente disponíveis para fins de conferência.²

3. Trabalhos Relacionados

Os trabalhos relacionados estão divididos em três grupos: (i) *Instruções dinâmicas*; (ii) *Eval em JavaScript*; e (iii) *Ferramentas em Ruby*.

Instruções dinâmicas: Hills et al. [7] investigaram quais instruções dinâmicas são usadas, o quão frequente elas são e como elas estão distribuídas ao longo dos arquivos em

sistemas PHP. Como resultado, eles estaticamente inferiram que 61% das chamadas poderiam ser resolvidas por códigos estáticos enquanto que neste estudo foi possível inferir 48%. Hills [6] também investigou a evolução das instruções dinâmicas em projetos PHP. O autor classificou as instruções dinâmicas em três categorias: (i) *variable features*, (ii) *magic methods* e (iii) *eval*. Conectando com este estudo, *variable features* e *magic methods* são similares ao uso de *send* em Ruby e o *eval* do PHP apresenta os mesmos comportamentos ao do Ruby. Ele concluiu que *eval* está sendo menos usado ao longo do tempo, mas *variable features* e *magic methods* estão sendo mais utilizados. Tal resultado é semelhante ao apresentado neste estudo, uma vez que desenvolvedores de Ruby usam *send* muito mais que *eval* (996 vs. 132). Callaú et al. [1] conduziram um estudo empírico em um grande projeto que usa a linguagem Smalltalk. Similar a este estudo (mas em outra linguagem), seus objetivos eram de verificar quais são as principais razões do uso de instruções dinâmicas e se tais instruções podem ser convertidas para códigos estáticos. Eles concluíram que instruções dinâmicas não são muito utilizadas (o que colabora com os resultados deste trabalho) e algumas instruções dinâmicas são mais utilizadas em alguns tipos de aplicações (o que não foi possível concluir neste estudo). Também foi reportado que 40,7% das instruções dinâmicas são estaticamente rastreáveis, enquanto que neste estudo o percentual foi de 48,3%.

Eval em JavaScript: Richards et al. [15] conduziram um estudo sobre o comportamento dinâmico em JavaScript. Baseado na execução de programas que monitoram as atividades de um sistema, foi descoberto que a instrução *eval* é comumente utilizado. Em um estudo mais focado em *eval*, Richards et al. [14] desenvolveram uma ferramenta que automaticamente carrega mais de 10.000 *sites* para obter informações sobre operações executadas pelo *eval*. Os autores afirmam que, em diversos cenários, o uso de *eval* é desnecessário e pode ser facilmente substituído por instruções estáticas, o que diferencia deste estudo, uma vez que 95% das instruções *eval* são complexas de serem removidas. Meawad et al. [10] projetaram uma ferramenta que dinamicamente inspeciona e analisa os parâmetros das chamadas *eval* para sugerir remoções da instrução. A ferramenta baseia-se em um algoritmo de inferência gramatical para converter o *eval* em códigos estáticos. Foi possível remover mais de 97% de instruções *eval*. Em um outro estudo sobre o mesmo tema, Jensen et al. [9] desenvolveram uma ferramenta que utiliza uma análise de fluxo para remover instruções *eval*. De 44 instruções *eval* coletadas em 28 programas, 33 foram convertidas para códigos estáticos (75%). Em comparação a este trabalho, apenas foi possível converter 4,55% de instruções *eval* (o que evidencia a importância de uma análise dinâmica para algumas instruções dinâmicas).

Ferramentas em Ruby: Furr et al. [2] propuseram a ferramenta *Ruby Intermediate Language* (RIL), que deixa o código Ruby mais fácil de ser analisado por ferramentas e desenvolvedores. Por exemplo, o RIL consegue obter os parâmetros do *eval* através de uma análise dinâmica e substituir o *eval* por todos os possíveis casos de execução. Dessa forma, a execução do *eval* se tornaria explícita e, portanto, facilitando o entendimento para os desenvolvedores e deixando a tarefa de manutenção do código mais fácil. Furr et al. [4] também desenvolveram PRuby, uma ferramenta que baseia-se nos perfis de utilização das instruções dinâmicas para removê-las. Eles relataram que os desenvolvedores utilizam mais o *eval* do que o *send* (27 vs. 15). No entanto, em comparação a este estudo, o *send* é muito mais comum do que o *eval* (132 vs. 996).

4. Conclusão

Esta iniciação científica investigou o uso de instruções dinâmicas em 10 projetos Ruby de código aberto. Em média, tais instruções correspondem a 0,53% nos sistemas analisados. Entretanto, de acordo com os estudos deste trabalho, quanto mais um sistema deve ser genérico, maior vai ser o uso de instruções dinâmicas (e.g., 1,42% no sistema Paperclip). Além disso, em média, 48% das instruções analisadas neste trabalho podem ser convertidas para códigos estáticos. Em um estudo por domínio, tal resultado pode aumentar para mais de 60% ao lidar com os projetos nos domínios de *Aplicação Web* e *Gerenciadores*.

Foi verificado que os desenvolvedores frequentemente utilizam instruções dinâmicas para acessarem métodos e atributos privados (20,4%), o que pode indicar violações na arquitetura planejada. Foram também identificadas três razões para o uso de instruções dinâmicas: *flexibilidade* (permitem com que o desenvolvedores escrevam, em poucas linhas, códigos que são responsáveis em adaptar o programa em diversos cenários, *tamanho* (o código é usualmente menor) e *violações arquiteturais* (permitem o acesso a variáveis e métodos privados).

Como já mencionado, a instrução `send` foi a mais utilizada. Essa instrução permite que a invocação de métodos definidos dinamicamente seja mais prática e ágil. Esse resultado não é restrito apenas para a linguagem Ruby. No trabalho de Callaú et al. [1], por exemplo, também foi demonstrado que instruções classificadas como *message sending* (equivalente ao `send` em Ruby) também são as mais utilizadas. Além disso, a funcionalidade da função `send` pode ser encontrada na API *Java Reflection*, o que significa que tal funcionalidade não está limitada apenas às linguagens dinâmicas.

Como trabalhos futuros, planeja-se descobrir associações usando análises estáticas (por exemplo, algumas instruções dinâmicas são mais usadas em certos tipos de aplicações?). Além disso, também planeja-se estender a ferramenta *nodyna* para analisar estaticamente um projeto Ruby de forma a realizar inferências de tipos. Com tal funcionalidade, a ferramenta poderá ser capaz de recomendar ao usuário conversões das instruções dinâmicas para estáticas através de heurísticas formalizadas para cada instrução dinâmica estudada neste artigo.

Finalmente, este estudo contempla a análise de 1.856 instruções dinâmicas nos 10 projetos Ruby com mais estrelas no GitHub. A análise manual de tais instruções não é trivial, sendo necessário um estudo prévio sobre cada projeto para entender o contexto do uso de cada instrução dinâmica. A principal dificuldade para realizar este estudo foi devido ao fato de que em diversos momentos instruções dinâmicas deixam a análise e estudo do código mais complexa e, portanto, exigem mais tempo e experiência.

Publicações resultantes: Durante a iniciação científica, o aluno participou efetivamente dos seguintes artigos:

- Elder Rodrigues Jr, Ricardo Terra. How Do Developers Use Dynamic Features? A Case Study on Ruby. In *11th International Symposium on Empirical Software Engineering and Measurement (EMSE)*, pp. 1-10, 2017 (**submetido, Qualis A2**).
Esse estudo reflete exatamente o projeto de IC conduzido pelo aluno, o qual foi descrito neste documento.
- Sergio Miranda, Elder Rodrigues Jr, Marco Tulio Valente, Ricardo Terra. Architecture Conformance Checking in Dynamically Typed Languages. *Journal of Ob-*

ject Technology, 15(3):1-34, 2016. (**publicado, Qualis B2**).

A contribuição do aluno foi dupla: (i) o aluno conduziu um estudo empírico de contagem de instruções dinâmicas e (ii) o aluno atuou – de forma autônoma – no projeto e implementação de uma visão arquitetural.

Agradecimentos: Este trabalho foi apoiado pelo CNPq.

Referências

- [1] Callaú, O., Robbes, R., Tanter, É., and Röthlisberger, D. (2013). How (and why) developers use the dynamic features of programming languages: the case of Smalltalk. In *8th Working Conference on Mining Software Repositories (MSR)*, pages 1156–1194.
- [2] Furr, M., An, J., Foster, J. S., and Hicks, M. (2009a). The Ruby intermediate language. In *5th Dynamic Languages Symposium (DLS)*, pages 89–98.
- [3] Furr, M., An, J., Foster, J. S., and Hicks, M. (2009b). Static type inference for Ruby. In *24th Symposium on Applied Computing (SAC)*, pages 1859–1866.
- [4] Furr, M., hoon (David) An, J., and Foster, J. S. (2009c). Profile-guided static typing for dynamic scripting languages. In *24th International Conference on Object-Oriented Programming, Systems, Languages, and Applications (OOPSLA)*, pages 283–300.
- [5] Hanenberg, S. (2010). An experiment about static and dynamic type systems: Doubts about the positive impact of static type systems on development time. In *25th International Conference on Object-Oriented Programming, Systems, Languages, and Applications (OOPSLA)*, pages 22–35.
- [6] Hills, M. (2015). Evolution of dynamic feature usage in PHP. In *22nd International Conference on Software Analysis, Evolution, and Reengineering (SANER)*, pages 525–529.
- [7] Hills, M., Klint, P., and Vinju, J. (2013). An empirical study of PHP feature usage: a static analysis perspective. In *International Symposium on Software Testing and Analysis (ISSTA)*, pages 325–335.
- [8] Holkner, A. and Harland, J. (2009). Evaluating the dynamic behaviour of Python applications. In *32nd Australasian Conference on Computer Science (ACSC)*, pages 19–28.
- [9] Jensen, S. H., Jonsson, P. A., and Møller, A. (2012). Remediating the eval that men do. In *International Symposium on Software Testing and Analysis (ISSTA)*, pages 34–44.
- [10] Meawad, F., Richards, G., Morandat, F., and Vitek, J. (2012). Eval begone!: semi-automated removal of eval from JavaScript programs. In *25th Conference on Object-Oriented Programming, Systems, Languages, and Applications (OOPSLA)*, pages 607–620.
- [11] Miranda, S., Rodrigues, E., Valente, M. T., and Terra, R. (2016). Architecture conformance checking in dynamically typed languages. *Journal of Object Technology*, 15(3):1–34.
- [12] Palsberg, J. and Schwartzbach, M. I. (1991). Object-oriented type inference. In *6th International conference on object-oriented programming, systems, languages, and applications (OOPSLA)*, pages 146–161.
- [13] Ren, B. M., Toman, J., Strickland, T. S., and Foster, J. S. (2013). The Ruby type checker. In *28th Symposium on Applied Computing (SAC)*, pages 1565–1572.
- [14] Richards, G., Hammer, C., Burg, B., and Vitek, J. (2011). The eval that men do. In *25th European Conference on Object-Oriented Programming (ECOOP)*, pages 52–78.
- [15] Richards, G., Lebrésne, S., Burg, B., and Vitek, J. (2010). An analysis of the dynamic behavior of JavaScript programs. In *31st Conference on Programming Language Design and Implementation (PLDI)*, pages 1–12.

Algoritmo de Eliminações Sucessivas em Níveis baseado na Soma das Diferenças Transformadas Absolutas

Luiz Cancellier¹, Ismael Seidel¹ (coorientador), José Luís A. Güntzel¹ (orientador)

¹Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)
Florianópolis – SC – Brazil

{luizhenriquecancellier,ismaelseidel}@gmail.com, j.guntzel@ufsc.com.br

Abstract. *The increasing resolutions combined with storage and processing limitations of mobile devices demand new compression techniques for video coding. Therefore, to achieve higher compression rates without compromising quality, the coding process becomes more and more complex. The most expensive step in video coding is the Motion Estimation, that consists of the search by a candidate block that minimizes a metric. This work proposes a new elimination criterion to Multilevel Successive Elimination Algorithm which is based on the Sum of Absolute Transformed Differences similarity metric. In the worst cases, the criterion eliminates 25% and 69% of evaluated candidates on Fractional and Integer Motion Estimation, respectively.*

Resumo. *O aumento das resoluções e as limitações impostas por dispositivos móveis tornaram necessária a adoção de novas técnicas de codificação de vídeo. Assim, visando alcançar taxas de compressão mais elevadas sem comprometer a qualidade, a codificação tem se tornado cada vez mais complexa. A etapa mais intensiva da codificação, do ponto de vista computacional, é a Estimção de Movimento (ME), a qual consiste na busca do bloco que minimize uma métrica. Este trabalho propõe um novo critério de eliminação de blocos para o Algoritmo de Eliminações Sucessivas em Níveis baseado na Soma das Diferenças Transformadas Absolutas. No pior caso, o critério eliminou 25% e 69% dos candidatos avaliados na ME Fracionária e Inteira, respectivamente.*

1. Introdução

Um vídeo é uma sequência de imagens, chamadas de quadros, apresentadas rapidamente no tempo. O armazenamento de todos os quadros de um vídeo não codificado é proibitivo devido ao grande volume de dados usados para sua representação [Agostini 2007]. Tal volume torna-se ainda maior com o aumento da resolução do vídeo. Dessa forma, torna-se necessário o desenvolvimento de novos padrões, como por exemplo o padrão estado da arte de Codificação de Vídeo de Alta Eficiência - *High Efficiency Video Coding* (HEVC) [ITU-T 2013].

Uma versão simplificada do fluxo de codificação é apresentada na Figura 1. Cada quadro não codificado, chamado de quadro original, é particionado em blocos chamados de originais. Para cada bloco original (Ori), a predição busca, em um conjunto de candidatos, por um bloco de referência (Ref) que minimize uma função de custo. A diferença entre o bloco original e a referência resulta no resíduo (Res), que será transformado (T) e

quantizado (Q). Na etapa de quantização, os elementos do bloco transformado são divididos por valores derivados do parâmetro de quantização. Quanto maior o parâmetro, mais os coeficientes serão reduzidos, diminuindo a informação que será usada para representar o bloco e também a qualidade do vídeo codificado. O bloco resultante de todo esse processo ainda passará pela codificação de entropia, onde é feita uma compressão sem perdas. Um bloco codificado é reconstruído com a quantização inversa (Q^{-1}), transformação inversa (T^{-1}) e o resultado é somado com o bloco de referência. Essa reconstrução irá realimentar a etapa de predição, adicionando mais um candidato ao *buffer*, o qual será usado para codificar os próximos blocos [Richardson 2003].

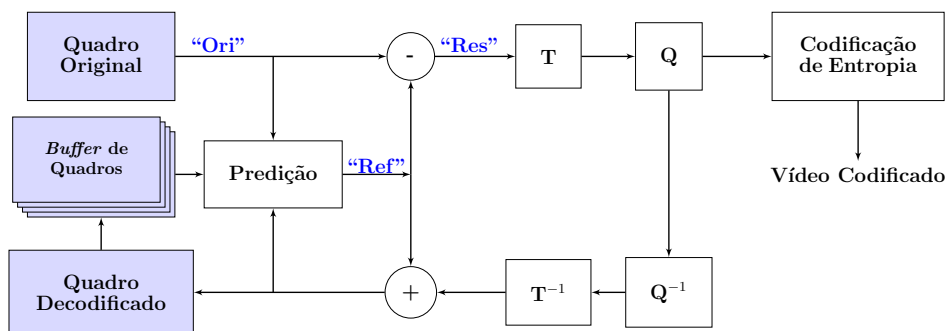


Figura 1. Diagrama simplificado do fluxo de codificação. Adaptado de: [Richardson 2003].

Dentre estas etapas, a predição é uma das mais custosas, do ponto de vista computacional. Apenas a Estimção de Movimento - *Motion Estimation* (ME), que ocorre durante a predição, é responsável por cerca de 40% do tempo total de codificação do HEVC [Bossen et al. 2012]. A ME, ilustrada na Figura 2, explora a redundância de dados que existem em quadros temporalmente próximos.

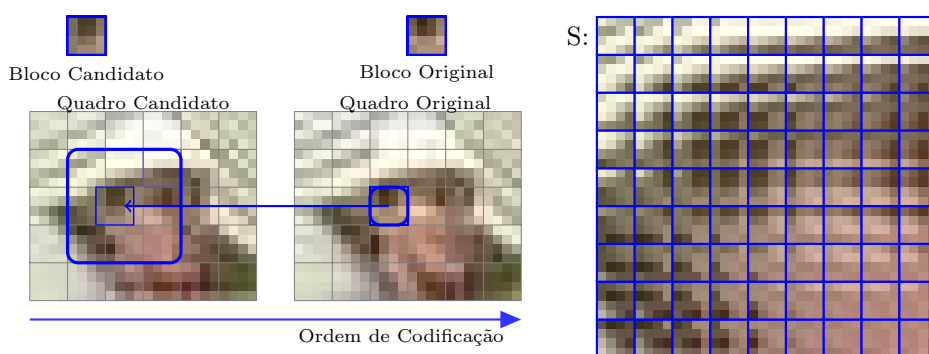


Figura 2. Exemplo do processo de ME. No quadro candidato está destacada a janela de busca e a seta aponta para o candidato que será tomado como referência para codificar o bloco original. O quadro à direita ilustra o espaço (S) dos possíveis candidatos na janela de busca. Fonte: [Seidel 2016].

O algoritmo que fornece o resultado ótimo na ME é a Busca Completa - *Fullsearch* (FS), que aplica a função de custo para todos os blocos candidatos no espaço de busca. Apesar do resultado ótimo, a busca exaustiva faz com que o tempo de execução seja muito elevado. Em função disso, diversos algoritmos rápidos foram propostos com o

objetivo de reduzir o número de candidatos avaliados, trocando o aumento de desempenho por resultados subótimos [Huang et al. 2006]. Visando acelerar a ME e ainda manter o resultado ótimo, Li e Salari propuseram o Algoritmo de Eliminações Sucessivas - *Successive Elimination Algorithm* (SEA) [Li and Salari 1995].

O SEA acelera a busca usando um critério de eliminação para descartar os candidatos impossíveis de serem tomados como referência. Posteriormente, foi feita uma generalização dessa técnica, estabelecendo diferentes níveis de eliminação [Gao et al. 2000]. Tal técnica foi usada no algoritmo chamado Algoritmo de Eliminações Sucessivas em Níveis - *Multilevel Successive Elimination Algorithm* (MSEA). Outros trabalhos foram desenvolvidos com base nos dois supracitados, mas todos se fundamentam no uso da métrica de similaridade Soma das Diferenças Absolutas - *Sum of Absolute Differences* (SAD) para o cálculo da função de custo [Zhu et al. 2005, Trudeau et al. 2015].

Uma métrica alternativa à SAD é a Soma das Diferenças Transformadas Absolutas - *Sum of Absolute Transformed Differences* (SATD), a qual melhora a relação entre a qualidade e a taxa de compressão do vídeo codificado [Wiegand and Schwarz 2016]. Um dos principais fatores que permitem à SATD apresentar melhor eficiência de codificação é a semelhança entre a transformada usada em seu cálculo e a Transformada Discreta dos Cossenos - *Discrete Cosine Transform* (DCT). Como pode ser observado na Figura 1, a DCT é aplicada após a predição, na etapa de transformação (T). Assim, escolher a referência com base em uma transformada que se aproxima da DCT reduz o erro gerado [Wiegand and Schwarz 2016]. Apesar da melhor eficiência de codificação, o cálculo da SATD é mais complexo que a SAD devido ao uso de uma etapa de transformação.

Como apresentado, se por um lado a codificação de vídeo é necessária para reduzir o volume de dados, por outro, este processo é computacionalmente intensivo. Dessa forma, é necessário balancear o compromisso entre taxa de compressão, qualidade e tempo de codificação. Ora, ao se adotar o uso de SATD na ME, consegue-se melhorar o compromisso entre taxa de compressão e qualidade, ao custo de aumento no tempo de codificação. Posto isso, o objetivo deste trabalho é acelerar o processo de ME baseada em SATD e garantir o resultado ótimo. Para isso, primeiramente definimos um critério de eliminação inspirado no SEA, publicado em [Seidel et al. 2016]. Tal como no SEA, a possibilidade de definir múltiplos níveis de eliminação foi desconsiderada. Neste trabalho, feito com base no MSEA, é proposto um novo critério que generaliza a definição anterior para múltiplos níveis, reduzindo o número de candidatos que terão sua SATD calculada.

O restante deste trabalho está organizado da seguinte forma. Na Seção 2 será apresentada a métrica SATD e um primeiro critério de eliminação definido por Seidel [Seidel et al. 2016]. O critério de eliminação proposto neste trabalho será apresentado na Seção 3. O método utilizado para a avaliação da efetividade da proposta é apresentado na Seção 4. Os resultados, por sua vez, serão apresentados e avaliados na Seção 5. Por fim, as conclusões e perspectivas de trabalhos futuros serão apresentadas na Seção 6.

2. Fundamentação

O cálculo da SATD inicia com a subtração do bloco original pelo candidato (Equação 1). Sobre a matriz resultante, é realizada uma transformada de Hadamard (Equação 2) [Agaian et al. 2011], que faz uso de uma matriz de Hadamard (H).

$$D_{2^n \times 2^n} = Ori_{2^n \times 2^n} - Can_{2^n \times 2^n} \quad (1)$$

$$T(D_{2^n \times 2^n}) = H_{2^n \times 2^n} \times D_{2^n \times 2^n} \times H_{2^n \times 2^n} \quad (2)$$

A matriz Hadamard pode ser obtida recursivamente para blocos quadrados de tamanho 2^n , tal que $n \in \mathbb{N}^*$, como apresenta a Equação 3.

$$H_{2^n \times 2^n} = \begin{cases} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} & , \text{ se } n = 1 \\ \begin{bmatrix} H_{2^{n-1} \times 2^{n-1}} & H_{2^{n-1} \times 2^{n-1}} \\ H_{2^{n-1} \times 2^{n-1}} & -H_{2^{n-1} \times 2^{n-1}} \end{bmatrix} & , \text{ caso contrário} \end{cases} \quad (3)$$

Tomando os elementos $t_{i,j}$ em $T(D_{2^n \times 2^n})$, a SATD pode ser definida como mostra a Equação 4.

$$\text{SATD}(Ori_{2^n \times 2^n}, Can_{2^n \times 2^n}) = \frac{1}{2^{n-1}} \sum_{i=1}^{2^n} \sum_{j=1}^{2^n} |t_{i,j}| \quad (4)$$

2.1. Primeiro Critério de Eliminação

O SEA se fundamenta na propriedade de subaditividade do módulo (Equação 5) [Schechter 1996] para propor um critério mais simples do que a SAD para eliminar candidatos impossíveis.

$$|a| + |b| \geq |a + b| \quad (5)$$

Aplicando a subaditividade do módulo na SATD obtém-se a Equação 6, na qual o módulo do somatório dos elementos transformados pode ser usado como critério de eliminação. Se durante a avaliação de um candidato a Equação 7 for verdadeira, então ele pode ser descartado, pois, pela Equação 6, sua SATD também será garantidamente maior ou igual à SATD mínima ($satd_{min}$). Da forma como foi apresentado, o cálculo do critério é ineficiente, pois ainda necessita transformar os elementos.

$$\frac{1}{2^{n-1}} \sum_{i=1}^{2^n} \sum_{j=1}^{2^n} |t_{i,j}| \geq \frac{1}{2^{n-1}} \left| \sum_{i=1}^{2^n} \sum_{j=1}^{2^n} t_{i,j} \right| \quad (6)$$

$$\frac{1}{2^{n-1}} \left| \sum_{i=1}^{2^n} \sum_{j=1}^{2^n} t_{i,j} \right| \geq satd_{min} \quad (7)$$

Ao realizar a soma de todos os elementos transformados, é possível reescrever o critério de eliminação como mostra a Equação 8. Esta é usada como critério de eliminação para o algoritmo SEA baseado em SATD. Esse critério foi chamado de Primeira Diferença Absoluta - *Absolute First Difference* (AFD) [Seidel et al. 2016].

$$\frac{1}{2^{n-1}} \left| \sum_{i=1}^{2^n} \sum_{j=1}^{2^n} t_{i,j} \right| = \frac{(2^n)^2}{2^{n-1}} |d_{1,1}| \quad (8)$$

Para ilustrar este resultado, será usada como base uma matriz transformada de tamanho 2×2 . Ao aplicar a transformação sobre a matriz das diferenças, obtém-se a Equação 9. É possível perceber que, quando todos os elementos são somados, todas as diferenças se cancelam, exceto $d_{1,1}$, que será utilizada na AFD.

$$\begin{aligned}
 T(D_{2 \times 2}) &= \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} d_{1,1} & d_{1,2} \\ d_{2,1} & d_{2,2} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} (+d_{1,1} + \cancel{d_{2,1}} + \cancel{d_{1,2}} + \cancel{d_{2,2}}) & (+d_{1,1} + \cancel{d_{2,1}} - \cancel{d_{1,2}} - \cancel{d_{2,2}}) \\ (+d_{1,1} - \cancel{d_{2,1}} + \cancel{d_{1,2}} - \cancel{d_{2,2}}) & (+d_{1,1} - \cancel{d_{2,1}} - \cancel{d_{1,2}} + \cancel{d_{2,2}}) \end{bmatrix}
 \end{aligned} \tag{9}$$

3. Critério Proposto

Um bloco quadrado de tamanho 2^n pode ser dividido em l níveis, tal que $0 \leq l < n$. O critério $MSATD_l$, proposto neste trabalho, pode ser definido como na Equação 10, na qual (o, p) indexa um elemento da partição (i, j) de tamanho $2^n/2^l$ da matriz das diferenças transformadas. É importante observar que, da forma como foi definida, a Equação 10 mostra uma abordagem ingênua, dado que calcula toda a transformação da matriz de diferenças.

$$MSATD_l = \frac{1}{2^{n-1}} \sum_{i=1}^{2^l} \sum_{j=1}^{2^l} \left| \sum_{o=1}^{2^n/2^l} \sum_{p=1}^{2^n/2^l} \left(T(D)_{i,j} \right)_{o,p} \right| \tag{10}$$

O cálculo do nível $l = 0$ é simplesmente a AFD. Para demonstrar o cálculo do nível 1, serão utilizadas como base as diferenças transformadas para blocos de tamanho 2^n . Neste caso, a $MSATD_1$ é dada pela Equação 11. As transformadas menores, de tamanho $2^n/2^l$, foram obtidas utilizando a multiplicação de matrizes particionadas [Liu et al. 2011].

$$\begin{aligned}
 MSATD_{l=1} &= \frac{1}{2^{n-1}} \left| \sum_{o=1}^{2^n/2^l} \sum_{p=1}^{2^n/2^l} \left(+ T(D_{1,1})_{\frac{2^n}{2^l} \times \frac{2^n}{2^l}} + T(D_{2,1}) + T(D_{1,2}) + T(D_{2,2}) \right)_{o,p} \right| \\
 &+ \frac{1}{2^{n-1}} \left| \sum_{o=1}^{2^n/2^l} \sum_{p=1}^{2^n/2^l} \left(+ T(D_{1,1}) + T(D_{2,1}) - T(D_{1,2}) - T(D_{2,2}) \right)_{o,p} \right| \\
 &+ \frac{1}{2^{n-1}} \left| \sum_{o=1}^{2^n/2^l} \sum_{p=1}^{2^n/2^l} \left(+ T(D_{1,1}) - T(D_{2,1}) + T(D_{1,2}) - T(D_{2,2}) \right)_{o,p} \right| \\
 &+ \frac{1}{2^{n-1}} \left| \sum_{o=1}^{2^n/2^l} \sum_{p=1}^{2^n/2^l} \left(+ T(D_{1,1}) - T(D_{2,1}) - T(D_{1,2}) + T(D_{2,2}) \right)_{o,p} \right|
 \end{aligned} \tag{11}$$

O somatório dos elementos da matriz transformada, $T(D_{i,j})$, já foi demonstrado no critério AFD (Equação 8) e corresponde ao primeiro elemento extraído da partição $D_{i,j}$. É possível reparar também que o padrão de sinais dos elementos é o mesmo que o de uma transformada Hadamard de tamanho 2 (Equação 3). Para os próximos níveis, o mesmo procedimento de multiplicação por particionamento pode ser aplicado, resultando na transformação de partições menores com o mesmo padrão de sinais de uma matriz Hadamard maior. Assim, o critério de eliminação apresentado na Equação 10 pode ser eficientemente calculado conforme apresentado na Equação 12, na qual FD é a matriz composta pela primeira diferença de cada partição. A Figura 3 ilustra como é feito o particionamento e seleção de elementos para a transformação de cada nível.

$$MSATD_l = \frac{(2^{n-l})^2}{2^{n-1}} \sum_{i=1}^{2^l} \sum_{j=1}^{2^l} \left| \left(H_{2^l \times 2^l} \times FD_{2^l \times 2^l} \times H_{2^l \times 2^l} \right)_{i,j} \right| \tag{12}$$

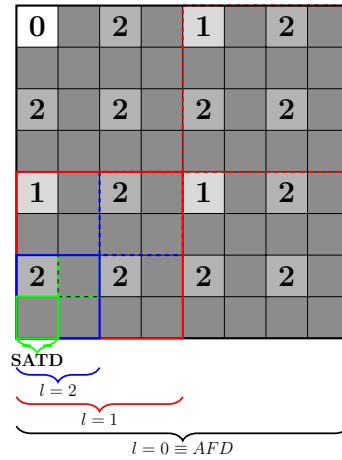


Figura 3. Níveis de particionamento de um bloco 8×8 no algoritmo MSEA-SATD. As posições marcadas com valores menores ou iguais a l compõem a matriz FD usada na métrica $MSATD_l$.

O Algoritmo 1 mostra como o critério de eliminação é aplicado durante a busca. As entradas são um bloco original (Ori) e o espaço de busca (S). Para cada candidato em S , são avaliados os níveis do critério de eliminação (linhas 1 a 8). Se em algum momento o valor do critério for maior que $satd_{min}$, a avaliação para a métrica SATD do candidato atual não é calculada. Se o candidato passar pela avaliação do critério (linha 9), então sua SATD é calculada (linha 10) e se ele for um candidato melhor (linha 11), então a referência e o valor de $satd_{min}$ são atualizados (linhas 12 e 13).

Algoritmo 1: MSEA baseado em SATD

Entrada: Ori, S
Saída: Ref

```

1  $satd_{min} \leftarrow \infty$ ;
2 para cada  $Can \in S$  faça
3   para  $l = 0$  até  $n - 1$  faça
4      $msatd \leftarrow MSATD_l(Ori, Can)$ ;
5     se  $msatd \geq satd_{min}$  então
6       para;
7     fim
8   fim
9   se  $msatd < satd_{min}$  então
10     $satd \leftarrow SATD(Ori, Can)$ ;
11    se  $satd < satd_{min}$  então
12       $satd_{min} \leftarrow satd$ ;
13       $Ref \leftarrow Can$ ;
14    fim
15  fim
16 fim

```

3.1. Análise do Número de Operações

A Tabela 1 apresenta o custo para computar a AFD, $MSATD_{n-1}$ e SATD. É possível perceber que a métrica AFD apresenta um custo baixo e independente do tamanho do bloco. Em contrapartida, a computação de $MSATD_l$ se torna mais complexa à medida que l aumenta. Ainda assim, no último nível ($l = n - 1$) a $MSATD_l$ necessita de apenas cerca de 25% das operações usadas para computar a SATD. Dessa forma, mesmo calculando diretamente o último nível, apesar de consumir mais operações para eliminar candidatos que já seriam impossíveis em níveis anteriores, a computação de $MSATD_{n-1}$ ainda é eficiente em relação à métrica SATD.

Tabela 1. Custo de operações para computar as métricas AFD, $MSATD_{n-1}$ e SATD. Os valores apresentados para transformação e somatório se referem ao número de somas realizadas. O produto por potências de dois é substituído por deslocamentos binários.

Métrica	Diferença	Transformação	Módulo	Somatório	Deslocamento
<i>AFD</i>	1	0	1	0	1
$MSATD_{n-1}$	$\frac{1}{4}(2^n)^2$	$\frac{1}{4}(2^n)^2((2^n)^2 - 4)$	$\frac{1}{4}(2^n)^2$	$\frac{1}{4}(2^n)^2 - 1$	1
<i>SATD</i>	$(2^n)^2$	$(2^n)^2((2^n)^2 - 1)$	$(2^n)^2$	$(2^n)^2 - 1$	1

4. Método

A técnica proposta foi implementada no código de referência do HEVC, o Modelo de Teste do HEVC - *HEVC Test Model* (HM)¹. Os testes foram feitos com base nas Condições Comuns de Teste - *Common Test Conditions* (CTC) [Bossen 2012], usando o arquivo de configuração “*Low-delay P-High efficiency*”. Todas as outras 22 sequências de vídeo com 8 bits por pixel foram codificadas usando os quatro parâmetros de quantização indicados (22, 27, 32 e 37). Neste artigo, serão apresentados apenas os resultados de pior caso, que ocorreram usando o parâmetro de quantização 22.

Foram feitos experimentos em duas etapas da ME. A primeira etapa, chamada de Estimção de Movimento Inteira - *Integer Motion Estimation* (IME), consiste numa busca pelos candidatos de um quadro já codificado. A segunda etapa, chamada de Estimção de Movimento Fracionária - *Fractional Motion Estimation* (FME), faz um refinamento no qual são gerados e avaliados novos candidatos a partir do candidato selecionado na IME.

5. Resultados

A Figura 5 apresenta o percentual acumulado de eliminações em cada nível do algoritmo MSEA. No contexto da FME, é possível perceber que o critério AFD (nível 0) apresenta um baixo percentual de eliminações. Como na FME os candidatos possuem valores muito próximos, o último nível do MSEA tende a ser o único com algum impacto significativo. Aplicando diretamente o nível 2, ainda seriam eliminados, no pior caso, aproximadamente 25% dos candidatos.

Em duas sequências de vídeo, o nível 0 apresentou um percentual de eliminação acima de 50%. Tanto o “*SlideEditing*” quanto o “*SlideShow*” são vídeos atípicos, com pouca movimentação. Pelos resultados obtidos, há um indício de que o critério AFD é uma técnica efetiva para esse nicho de aplicação.

¹Versão 16.6. Disponível em: “https://hevc.hhi.fraunhofer.de/svn/svn_HEVCSoftware”

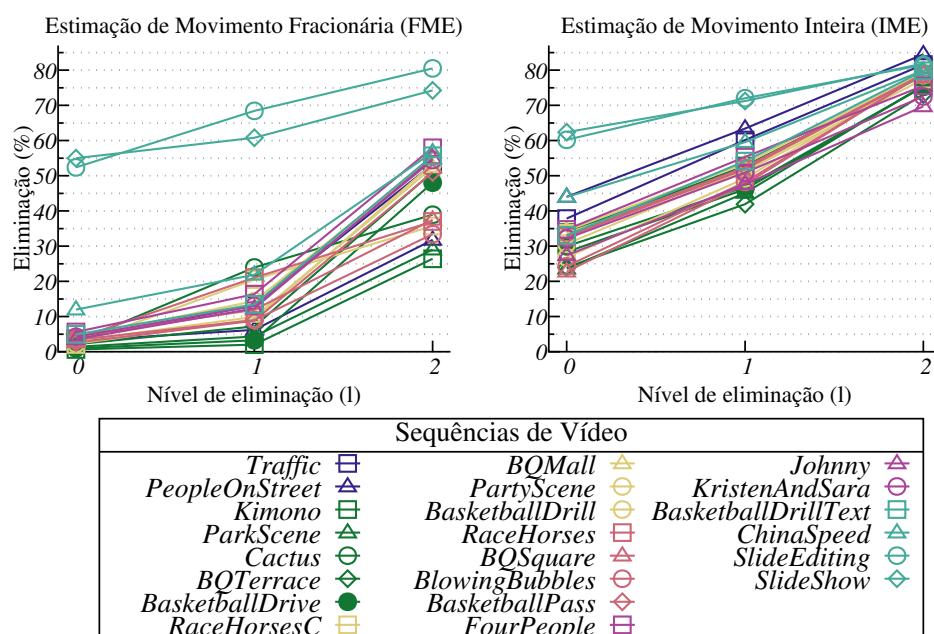


Figura 4. Percentual acumulado de eliminações de candidatos em cada nível na FME e IME.

Na IME, diferente do resultado observado na FME, o uso da AFD apresenta um elevado percentual de eliminação. Isso ocorre porque são avaliados candidatos pouco similares, onde eventualmente um bloco com baixo valor de SATD é encontrado e os outros serão eliminados já nos primeiros níveis. No pior caso, aproximadamente 22,75% dos candidatos foram eliminados, valor considerável para um critério que usa apenas três operações aritméticas.

O uso do algoritmo MSEA também é efetivo. No último nível, as sequências convergem para um percentual de eliminação acima de 65%. Novamente, observa-se a possibilidade de computar apenas o terceiro nível como critério de eliminação.

5.1. Comportamento por Tamanho de Bloco

No HEVC, blocos não quadrados ou maiores que 8×8 são computados como o somatório da SATD de partições de tamanho 8×8 ou 4×4 . Adicionando o somatório das partições em ambos os lados das equações, todas as propriedades definidas nas seções anteriores são mantidas. A Tabela 2 apresenta os resultados de eliminação por tamanho de bloco.

QP	Eliminação (%)		
	4×4	8×8	Total
22	24,02	6,40	30,42
27	26,46	7,46	33,93
32	29,63	9,56	39,18
37	32,84	12,37	45,21

Tabela 2. Percentual médio de eliminações de candidatos compostos por blocos 4×4 e 8×8 usando o critério AFD.

Nos experimentos realizados, foi possível observar que o critério de eliminação AFD foi mais efetivo para eliminar blocos compostos por 4×4 do que blocos compostos

por 8×8 . Para entender tal efeito, é necessário observar o comportamento dos critérios de eliminação e da SATD. Para isso será tomada como base a matriz de diferenças que resulta no maior valor possível de SATD. Tal matriz, que será chamada de D' , foi obtida com base na propriedade definida na Equação 13 [Agaian et al. 2011], onde I é a matriz identidade. Tomando D' como mostra a Equação 14, onde v é o maior valor que o pixel pode assumir, a propriedade pode ser aplicada na transformação, resultando na Equação 15.

$$H_{2^n \times 2^n} \times H_{2^n \times 2^n} = 2^n \times I_{2^n \times 2^n} \quad (13)$$

$$D'_{2^n \times 2^n} = v \times H_{2^n \times 2^n} \quad (14)$$

$$T(D'_{2^n \times 2^n}) = H_{2^n \times 2^n} \times (v \times H_{2^n \times 2^n}) \times H_{2^n \times 2^n} = 2^n \times v \times H_{2^n \times 2^n} \quad (15)$$

Através da Equação 15, os resultados de AFD, $MSATD_{n-1}$ e SATD para a matriz D' são dados pelas equações abaixo:

$$AFD = 2 \times 2^n v \quad (16)$$

$$MSATD_{l=n-1} = (2^n)^2 v \quad (17)$$

$$SATD = 2 \times (2^n)^2 v \quad (18)$$

É possível reparar que o comportamento da AFD tem crescimento linear com relação ao tamanho do bloco, enquanto o comportamento da métrica SATD é quadrático. Isso justifica o maior percentual de eliminações para os blocos menores, uma vez que a diferença entre as métricas também será menor. Quanto ao critério de eliminação $MSATD_{n-1}$, é possível perceber que ele também apresenta o comportamento quadrático, justificando assim o maior percentual de eliminação de candidatos no último nível.

6. Conclusões e Trabalhos Futuros

Neste trabalho foi proposto um novo critério de eliminação, chamado $MSATD_l$, que generaliza o SEA baseado em SATD para múltiplos níveis. Este critério demonstrou ser efetivo, principalmente no terceiro nível. No pior caso, foram eliminados aproximadamente 24% dos candidatos avaliados na FME. Quando aplicado na IME, os resultados foram ainda melhores, eliminando 69% dos candidatos. Além de apresentar melhor taxa de eliminações no terceiro nível, o $MSATD_l$ computa apenas 25% das operações necessárias para calcular a SATD, demonstrando ser não somente efetivo como também eficiente.

Trabalhos futuros envolvem o estudo da relação entre diferentes níveis do critério $MSATD_l$. Um exemplo é reusar as operações das transformadas de níveis menores como cálculo parcial dos maiores, evitando o recálculo de operações. Também deve ser feita a avaliação de desempenho ao usar apenas o último nível de eliminação, visando verificar o impacto de usar a operação mais custosa, mesmo quando o último nível não fosse necessário. Além das pesquisas com o critério proposto neste trabalho, também é possível buscar novos critérios baseados em diferentes construções da matriz de Hadamard, bem como outras formas de particionamento além da proposta original do MSEA.

Referências

- Agaian, S., Sarukhanyan, H., Egiazarian, K., and Astola, J. (2011). *Hadamard Transforms*. SPIE Press Monograph Vol. PM207. SPIE Press.
- Agostini, L. V. (2007). Desenvolvimento de arquiteturas de alto desempenho dedicadas à compressão de vídeo segundo o padrão H.264/AVC. Tese de doutorado, UFRGS.
- Bossen, F. (2012). Common test conditions and software reference configurations. Document JCTVC-K1100, Joint Collaborative Team on Video Coding (JCT-VC) of ITU-T SG16 WP3 and ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, Shanghai.
- Bossen, F., Bross, B., Suhring, K., and Flynn, D. (2012). HEVC complexity and implementation analysis. *IEEE Trans. on Circ. Syst. for Video Technology*, 22(12):1685–1696.
- Gao, X., Duanmu, C., and Zou, C. (2000). A multilevel successive elimination algorithm for block matching motion estimation. *IEEE Trans. on Image Process.*, 9(3):501–504.
- Huang, Y.-W., Chen, C.-Y., Tsai, C.-H., Shen, C.-F., and Chen, L.-G. (2006). Survey on block matching motion estimation algorithms and architectures with new results. *J. VLSI Signal Process. Syst.*, 42(3):297–320.
- ITU-T (2013). Recommendation ITU-T H.265: High efficiency video coding. Recommendation H.265, International Telecommunication Union, Geneva.
- Li, W. and Salari, E. (1995). Successive elimination algorithm for motion estimation. *IEEE Trans. on Circ. Syst. for Video Technology*, 4(1):105–107.
- Liu, J., Chen, X., Fan, Y., and Zeng, X. (2011). A full-mode FME VLSI architecture based on 8x8/4x4 adaptive Hadamard transform for QFHD H.264/AVC encoder. In *2011 IEEE/IFIP 19th International Conference on VLSI and System-on-Chip*, pages 434–439.
- Richardson, I. E. G. (2003). *H. 264 and MPEG-4 video compression: video coding for next-generation multimedia*. John Wiley & Sons Inc.
- Schechter, E. (1996). *Handbook of Analysis and Its Foundations*. Elsevier Science.
- Seidel, I. (2016). *Exploiting SATD Properties to Reduce Energy in Video Coding*. Exame de qualificação (doutorado), UFSC, Florianópolis-SC.
- Seidel, I., Cancellier, L., Güntzel, J. L., and Agostini, L. (2016). Rate-constrained successive elimination of Hadamard-based SATDs. In *IEEE International Conference on Image Process. (ICIP)*, pages 2395–2399.
- Trudeau, L., Coulombe, S., and Desrosiers, C. (2015). An adaptive search ordering for rate-constrained successive elimination algorithms. In *IEEE International Conference on Image Process. (ICIP)*, pages 207–211.
- Wiegand, T. and Schwarz, H. (2016). Video coding: Part II of fundamentals of source and video coding. *Foundations and Trends in Signal Processing*, 10(1–3):1–346.
- Zhu, C., Qi, W.-S., and Ser, W. (2005). Predictive fine granularity successive elimination for fast optimal block-matching motion estimation. *IEEE Trans. on Image Process.*, 14(2):213–221.

Detecção de Desmatamento Ilegal na Floresta Amazônica Baseada em Processamento de Áudio

Aluno: Waldomiro J. G. Seabra^{1,*}
Coorientador: Juan G. Colonna^{1,†}
Orientador: Eduardo F. Nakamura^{1,‡}

¹Instituto de Computação – Universidade Federal do Amazonas (UFAM)
Av. General Rodrigo Octávio, 6200, CEP: 69080-900, Manaus – AM – Brasil

{*wjgs, †juancolonna, ‡nakamura}@icomp.ufam.edu.br

Abstract. *In this work, we present a sound detection method for chainsaw engines to combat illegal logging. Our approach uses the Wavelet Decomposition in high frequencies, which divides optimally the natural sounds class from the other classes and divides very well, although there is still overlap, the chainsaw class from the artificial sounds class. We used a one-class classifier method, the Support Vector Data Description (SVDD), that creates a hypersphere around the points representing the target class (chainsaws) into the feature space, thus being able to differentiate chainsaws from other natural and artificial sounds. It is shown that the method is efficient discriminating sounds of chainsaws from natural sounds (AUC = 96%), discriminating sounds of chainsaws and artificial sounds from natural sounds (AUC = 91%), but loses efficiency when tested against artificial sounds (AUC = 87%).*

Resumo. *Neste trabalho apresentamos um método de detecção de motosserras através de som para auxiliar no combate a extração ilegal de madeira. Em nossa abordagem é utilizada a decomposição Wavelet (W) nas altas frequências, o que divide de forma ótima a classe de sons naturais das demais classes e divide muito bem, apesar de ainda haver sobreposição, a classe de motosserras da classe de sons artificiais. Nós usamos um método de classificação de uma classe, o Support Vector data Description (SVDD), que cria uma hiperesfera ao redor do dos pontos que representam a classe alvo (motosserras) no espaço de características acústicas, desta forma sendo capaz de diferenciar motosserras de outros sons naturais e artificiais. Através dos experimentos realizados, concluímos que nossa abordagem é eficiente diferenciando sons de motosserras de sons naturais (AUC = 96%), diferenciando motosserras e sons artificiais de sons naturais (AUC = 91%), mas perde eficiência quando comparada com sons artificiais (AUC = 87%).*

1. Introdução

O desmatamento da Amazônia cresceu em ritmo acelerado nos últimos anos, colocando em risco a fauna e a flora da região [Greenpeace 2016]. Os métodos atuais para detectar esses atos incluem o uso de imagens obtidas por Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT), imagens satelitais e fiscalização humana. Os dois primeiros são computacionalmente complexos e conseguem monitorar somente acima do nível das copas das árvores, e o terceiro é operativamente custoso e ineficiente, devido aos recursos humanos necessários.

Nós apresentamos aqui um método eficiente embarcando um modelo de classificação em sensores acústicos. Estes podem ser posicionados em áreas de proteção ambiental onde deseja-se impedir o corte ilegal de madeira. O processamento e reconhecimento automático de áudio é uma tarefa complexa, devido a elevada riqueza acústica da floresta, na qual, os sons podem ser de origem natural (cantos de aves, chuva) ou causados pela ação humana (voz, sons de barcos). O objetivo de nosso trabalho é identificar uma motosserra, ignorando todos os outros ambientais ou artificiais.

Para extrair o vetor de características de um áudio é usada a Decomposição Wavelet nas altas frequências. A decomposição Wavelet (W) permite decompor o sinal acústico, captado pelos sensores, utilizando um conjunto de funções ortogonais que podem ser dilatadas e transladadas no tempo [Graps 1995]. Aplicando-a nas altas frequências é possível observar uma clara separação entre as classe, como mostrado na Figura 5(a). Dos sinais resultantes da decomposição são gerados os elementos do vetor de características (Figura 1). Essa transformada é conhecida por ser mais rápida que a transformada rápida de Fourier tradicional. Isso torna o sensor mais rápido.

Métodos de classificação são técnicas frequentemente utilizadas para resolver problemas de tomada de decisão. Em nossa abordagem optamos por um método de classificação de uma classe (*One-Class Classifier*). Este consiste em classificar um objeto como pertencente ou não a uma classe alvo [Khan 2010]. O método utilizado é o Support Vector Data Description (SVDD) [Tax and Duin 2004]. O SVDD é um método vetorial que cria uma hipersfera, em torno dos exemplos da classe positiva no espaço vetorial definido pelo conjunto das características acústicas. Consequentemente, o SVDD rejeita todos os exemplos de teste que se encontram fora da hipersfera. A simplicidade do método permite que seja embarcado em nós sensores com poucos recursos de hardware, pois o modelo de classificação resulta num produto vetorial simples. Assim, podemos reduzir a complexidade do processamento, reduzir o consumo de bateria e aumentar o tempo de vida útil do sensor.

Para sumarizar a performance do método é utilizada a curva ROC (*Receiver Operating Characteristic*). Esta curva é gerada utilizando a taxa de verdadeiro positivos (TPR) e a taxa de falso positivos (FPR). Para avaliar o desempenho final do método, mediante a curva ROC, utilizamos a área sob a curva (*Area Under ROC Curve - AUC*). Esta métrica é uma forma de caracterizar cada curva ROC por um valor real e usá-lo para comparar performances.

Nos experimentos realizados neste trabalho observamos que o classificador obtém resultados ótimos quando a classe negativa usada é composta inteiramente por sons naturais ($\sim 96\%$). Quando sons artificiais são usados como classe negativa há uma perda de desempenho ($\sim 87\%$), isso ocorre pela semelhança entre alguns sons artificiais e o som característico das motosserras. Quando sons de motosserras são agrupados com sons artificiais na mesma classe positiva o classificador novamente obtém bons resultados ($\sim 91\%$). Estes resultados indicam que o sensor deve ser posicionado longe de fontes de sons artificiais como estradas ou margens de rios, inseridos dentro das unidades de conservação.

O restante do artigo está organizado da seguinte forma: a Seção 2 descreve os fundamentos teóricos utilizados no trabalho (Decomposição Wavelet, Classificação de uma Classe, Support Vector Data Description e Curvas ROC e AUC); a Seção 3 apresenta tra-

balhos relacionados que já abordaram o assunto de detecção de motosserras em operação através de áudio; a Seção 4 apresenta a abordagem para o sensor proposto neste trabalho; a Seção 5 explica a metodologia utilizada para obtenção dos resultados; a Seção 6 mostra os resultados obtidos no decorrer dos experimentos; por fim a Seção 7 faz uma pequena revisão do que foi apresentado no trabalho e cita possíveis formas de melhorar os resultados.

2. Fundamentos Teóricos

Formalmente, o sinal acústico captado pelo microfone do sensor é uma série temporal da forma $X(t) = \{x_1, x_2, \dots, x_N\}$, na qual seus valores representam a amplitude do som dentro do intervalo temporal $1 \leq t \leq N$, com duração máxima N . Um *frame* deste sinal pode ser obtido aplicando uma janela deslizante de tamanho $n < N$, o que resulta num subconjunto com k vetores da forma $\mathbf{x}_k = \{x_i, x_{i+1}, \dots, x_{i+n}\}$, com n valores consecutivos. Desta forma, o sinal original pode ser representado pelo conjunto $k = 1, 2, \dots, K$ de *frames* sucessivos.

2.1. Decomposição Wavelet

Neste trabalho, optamos pelo uso da Transformada Wavelet (\mathcal{W}) ao invés da Transformada de Fourier (\mathcal{F}) para realizar a extração das características acústicas que representam cada sinal. Esta escolha é fundamentada pela menor complexidade computacional da \mathcal{W} em comparação à Transformada Rápida de Fourier ($O(N) \leq O(N \log N)$).

A Wavelet utilizada neste trabalho é aplicada nas altas frequências ao invés da tradicional que decompõe as baixas frequências. Esta forma de decomposição foi utilizada pois sons gerados por motores possuem mais energia nas altas frequências como mostrado mais a frente na Seção 6. Desta forma é possível descrever melhor as diferenças entre motosserras e alguns sons da classe artificial, como motores de barcos, o que também é mostrado na Seção 6.

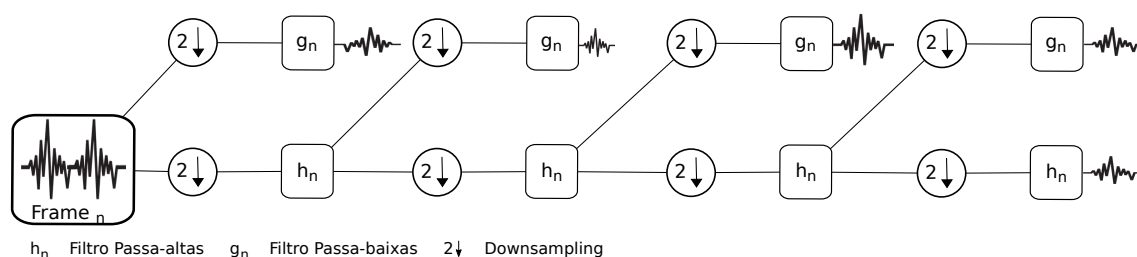


Figura 1. Exemplo de decomposição Wavelet dos frames e extração das características acústicas relacionadas às frequências principais utilizando quatro níveis do discrete wavelet transform (dwt).

A decomposição Wavelet discreta pode ser obtida pelo seu *esquema discreto - dwt*, o qual é definido como uma decomposição recursiva aplicando filtros passa-alta e passa-baixa ao sinal de entrada (Figura 1). Após a aplicação do *dwt* a cada *frame* do sinal \mathbf{x}_k obtemos $L = m + 1$ novos sinais no domínio $\mathcal{W}(\mathbf{x}_k)_m = \mathbf{y}_k^L$, onde m é a quantidade de níveis da decomposição. Cada um dos L sinais y_k^l possui a mesma duração que o *frame* original \mathbf{x}_k . Finalmente, podemos obter L coeficientes, que representam a energia de cada

\mathbf{y}_k^l , aplicando a Equação 1.

$$\mathbf{c}_k^l = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_{ki}^l)^2, \quad (1)$$

onde $l = 1, 2, \dots, L$ e $i = 1, 2, \dots, n$ representa o índice temporal. Assim, os vetores de coeficientes $\mathbf{c}_k = [c_k^1, c_k^2, \dots, c_k^L]$ correspondentes a cada *frame* constituem o vetor de características acústicas utilizados para treinar o classificador descrito na próxima seção.

Para analisar a qualidade da extração de características utilizamos o plano da complexidade (\mathcal{C}_w) pela entropia (\mathcal{H}_w). Para isso é observada a separação entre as classes de nosso problema (motoserras, sons artificiais e sons naturais) no plano gerado. O plano obtido em nosso trabalho é mostrado na Sessão 6. \mathcal{H}_w é definida pela Equação 2, onde P é o histograma de entrada com tamanho K . \mathcal{C}_w é definida pela Equação 3 onde JSD é a divergência de Jensen-Shannon [Lin 1991].

$$\mathcal{H}_w = - \sum_{k=1}^K P_k * \ln P_k \quad (2)$$

$$\mathcal{C}_w = \mathcal{H}_w * JSD \quad (3)$$

2.2. Classificador de Uma Classe

A classificação de uma classe, diferente da classificação tradicional multi-classe, tem como objetivo identificar objetos da classe alvo (ou positiva) dentre várias outras, fazendo isso sem nenhuma amostra da classe negativa. Em nosso contexto de aplicação, a classificação multi-classe torna-se impossível devido a diversidade de sons da floresta. Por este motivo, escolhemos utilizar um método de classificação de uma classe, pois o objetivo é detectar motoserras em meio aos demais sons da floresta.

2.2.1. Support Vector Data Description

Support Vector Data Description (SVDD) foi inspirado na ideia do Support Vector Machine (SVM). O objetivo do SVDD é criar uma hiperesfera dentro do espaço de características \mathbf{c}^l transformadas por uma função não linear chamada kernel. A hiperesfera é caracterizada pelo centro \mathbf{a} e pelo raio R , contendo a maioria dos objetos da classe positiva utilizada para treinar o classificador [Chang et al. 2013]. Assim, dado um conjunto de treinamento $\mathbf{c}_k \in \mathbb{R}^L$, onde $k = 1, 2, \dots, K$ representa a quantidade de *frames* do áudio, SVDD resolve o seguinte problema de otimização:

$$\begin{aligned} & \text{minimizar}_{R, \mathbf{a}, \xi} R^2 + C \sum_{k=1}^K \xi_k \\ & \text{sujeito a: } \|\phi(\mathbf{c}_k) - \mathbf{a}\|_2^2 \leq R^2 + \xi_k \\ & \xi_k \geq 0, k = 1, 2, \dots, K \end{aligned} \quad (4)$$

onde, $\|\cdot\|_2$ é a norma euclidiana, $\phi(\mathbf{c}_k)$ é a função kernel que mapeia cada vetor de coeficientes obtidos pela transformada Wavelet a um espaço vetorial de dimensões maiores,

ξ é a variável de folga que permite relaxar as margens da função de decisão e $C > 0$ é um parâmetro definido pelo usuário que representa a tolerância aos *outliers* próximos à margem de decisão.

Para alcançar a relação ótima entre os falso positivos e os verdadeiro positivos deve-se escolher o volume da hipersfera controlado pelo parâmetro C e pelo parâmetro σ da função do kernel Gaussiano, como ilustrado na Figura 2. O objetivo final, é encontrar uma combinação ótima para esses parâmetros, que minimizem o volume da hipersfera, sem rejeitar amostras da classe positiva (motosserra), pois com um volume muito pequeno apareceria uma quantidade elevada de falso negativos. O SVDD oferece a habilidade de realizar um mapeamento não linear dos dados para um espaço vetorial de dimensões maiores, aplicando o truque do kernel, sem incorrer num custo computacional adicional. Na Seção 6 apresentamos uma avaliação experimental demonstrando o efeito destes parâmetros.

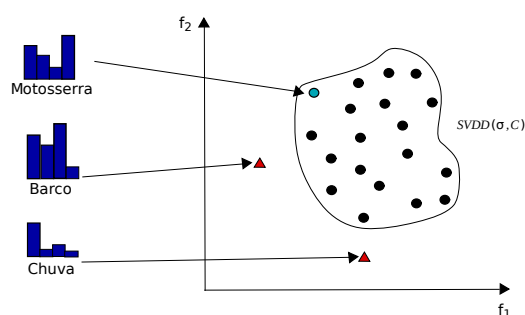


Figura 2. Hipersfera do SVDD onde os círculos representam amostras da classe alvo e os triângulos representam amostras da classe negativa (*outliers*).

2.3. Curva ROC e AUC

Neste trabalho, utilizamos as curvas ROC (*Receiver Operating Characteristic Curve*) para estimar o desempenho de nosso método. Devido a que este tipo de curvas foram definidas somente para os casos binários (somente duas classes), na metodologia incluímos classes negativas, as quais não correspondem ao som das motosserras, para estimar a capacidade de rejeição do nosso método. Assim, uma curva ROC pode ser gerada traçando a taxa de verdadeiro positivos (TPR) contra a taxa de falso positivos (FPR) enquanto varia-se o limiar de decisão entre zero e um [Fawcett 2006], definidas como:

$$TPR = \frac{TP}{TP + FP}, \quad (5)$$

$$FPR = \frac{FP}{FP + TN}. \quad (6)$$

Assim, para cada observação é atribuída uma classe e comparada com a classe correta. Desta forma, a probabilidade condicional de detecção torna-se uma função de probabilidade dos falsos alarmes e nos ajuda a selecionar o modelo ótimo. O modelo ótimo é aquele que maximiza a área sob a curva (AUC), independentemente da distribuição de classe. Portanto, esta métrica é adequada para entender o gráfico ROC como um único valor escalar que indica o desempenho do classificador (Figura 5(b)). O AUC varia no intervalo $0 \leq AUC \leq 1$. Assim, quanto maior é o AUC, melhor é o desempenho do reconhecimento.

3. Trabalhos Relacionados

Nos trabalhos de [Papán et al. 2012] e [Soisiinthorn and Rujipattanapong 2007] métodos baseados em autocorrelação são propostos, entretanto tais métodos não são adequados para uma aplicação real na Amazônia devido a riqueza acústica da floresta e pela possível ocorrência de sons artificiais. Nestes trabalhos, a função de autocorrelação foi aplicada para extrair a frequência fundamental dos sinais, porém, os harmônicos e as sub-bandas de frequências que caracterizam os sons artificiais foram ignorados. Além disso, a função de autocorrelação é sensível aos ruídos ambientais. Dos trabalhos anteriormente citados nenhum leva em consideração a ocorrência de sons não naturais.

Na abordagem apresentada por [Colonna et al. 2016b] foi proposto o uso de redes de sensores acústicos sem fio para detecção de motosserras. Neste caso, foi utilizada a transformada de Fourier (*FFT*) para extrair as características acústicas mais relevantes representadas pelos coeficientes Mel (*Mel Frequency Cepstral Coefficient* - MFCC). Posteriormente, aplicou-se apenas uma função kernel não paramétrica para estimar a densidade de probabilidade dos principais MFCCs. Entretanto, o critério de rejeição foi determinado empiricamente.

Nenhum dos trabalhos relacionados utiliza transformada Wavelet para obtenção das características do áudio, foi preferido utilizar esta transformada pela baixa complexidade computacional ($O(N)$) e seu esquema de processamento em tempo real. Outro diferencial deste trabalho é o uso do Support Vector Data Description cujo modelo de classificação resulta num produto vetorial simples e que consegue rejeitar amostras desconhecidas.

4. Abordagem

Para abordar o problema de fiscalizar áreas de floresta contra corte ilegal de madeira, é proposto neste trabalho o uso de uma Rede de Sensores Acústicos Sem Fio (RSASF). Estas redes consistem em um conjunto de dispositivos autônomos com processamento local, capazes de monitorar as condições acústicas do ambiente em diferentes locais [Bertrand 2011]. Estes sensores obtêm as amostras de áudio do ambiente e processam as mesmas localmente, evitando a transmissão de dados brutos.

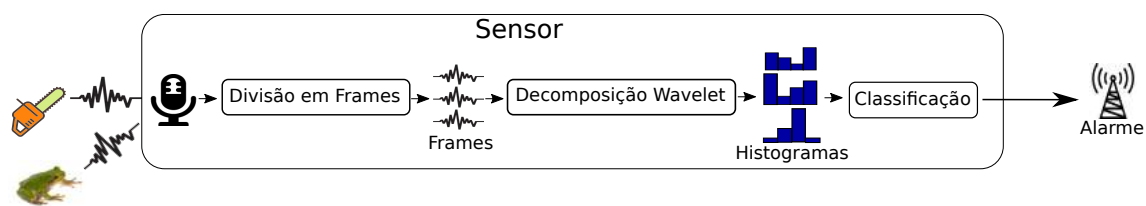


Figura 3. Sensor acústico com o método proposto embarcado.

A Figura 3 exemplifica o método embarcado no nó sensor. Nesta figura, o sensor realiza a leitura sonora do ambiente e segmenta o sinal em *frames*. O vetor de características c_k^L correspondente a cada *frame*, extraído utilizando a decomposição Wavelet nas altas frequências com as bases “Haar”, é representado pelo histograma da Figura 3. Este vetor de características é classificado localmente aplicando o modelo SVDD previamente treinado, e se uma motosserra for detectada, um alarme é enviado através da rede de sensores até os agentes ambientais.

5. Metodologia Experimental

A base de dados utilizada é composta por 12 áudios de motosserras (classe positiva); 33 áudios com sons naturais (primeira classe negativa); 22 áudios com sons artificiais (segunda classe negativa); e uma segunda classe positiva com 34 amostras, concatenando todos os sons de motosserras com sons artificiais. Além disso, uma terceira classe negativa com 55 amostras foi criada, concatenando todos os sons naturais e artificiais. Todos os áudios possuem frequência de amostragem igual a 22 050 Hz e duração N variável. Cada áudio foi dividido em *frames* com um segundo de duração sem sobreposição. A base da transformada Wavelet utilizada é “Haar” com quatro níveis.

Primeira etapa da avaliação: O experimento foi realizado em duas etapas, para poder avaliar o erro de generalização esperado pelo modelo de classificação (como recomendado em [Colonna et al. 2016a]). A primeira etapa utiliza validação cruzada por áudio, onde a cada iteração, todos os *frames* pertencentes ao mesmo áudio de motosserra neste caso, são separados da classe positiva e utilizados como conjunto de teste. Os *frames* restantes da classe positiva são utilizados para treinar o modelo SVDD. Após o treino, o conjunto de teste é avaliado. Desta forma, é possível atribuir uma pontuação para cada *frame* de teste representando a confiança de pertencer à classe positiva. Esta iteração é repetida até que todos os áudios da classe motosserra, com seus respectivos *frames*, são avaliados.

Segunda etapa da avaliação: Após a obtenção da pontuação de todos os *frames* da classe positiva, nesta segunda etapa, são avaliados todos os *frames* das classes negativas, obtendo-se um valor de pontuação para cada um deles. Neste caso, não é necessário separar um conjunto de teste para a classe negativa, devido a que o modelo de classificação é criado considerando somente a classe positiva. Esta é a principal vantagem de se utilizar SVDD. Nesta etapa, os parâmetros da função kernel e C não foram alterados, isto é, permanecem os mesmos valores que foram os utilizados para avaliar a classe positiva na primeira etapa.

Finalmente, com as pontuações obtidas na primeira e segunda etapa, criamos as curvas ROC e calculamos o AUC de cada uma destas. Para treinar o modelo SVDD, utilizamos o kernel Guassiano com o parâmetro σ , que representa a largura de banda deste kernel. Cada experimento foi repetido uma vez para cada combinação dos parâmetros $C = 1.0$ e $\sigma = \{1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0\}$. No total foram geradas 7 curvas ROC e valores de AUC para cada combinação das classes: positiva e negativa com sons naturais; positiva e negativa com sons artificiais; e positiva com as duas classes negativas, obtendo-se assim um total de 28 valores de AUC.

6. Resultados

Parte dos resultados de nossa metodologia é o uso de um método de extração de características acústicas que distinga de forma ótima as classes, tal método é a Wavelet nas altas frequências. Isto é mostrado pela visível separação entre as classes no plano da complexidade (\mathcal{C}_w) pela entropia (\mathcal{H}_w) mostrado na Figura 5(a). É possível perceber uma clara separação entre a classe de sons naturais e as outras duas, enquanto a classe de sons de motosserras e a classe de sons artificiais possuem uma intercessão entre elas graças a semelhança entre sons de motosserras e outros motores.

	Motosserras vs Naturais	Motosserras vs Artificiais	Motosserras vs Todos	Motores vs Naturais
$\sigma = 1.0$	0,939	0,7097	0,7945	0,9157
$\sigma = 1.5$	0,952	0,773	0,8392	0,9020
$\sigma = 2.0$	0,9528	0,8289	0,8747	0,8973
$\sigma = 2.5$	0,9594	0,8706	0,9035	0,8938
$\sigma = 3.0$	0,9639	0,8585	0,8974	0,8979
$\sigma = 3.5$	0,9643	0,8324	0,8812	0,8961
$\sigma = 4.0$	0,9610	0,8167	0,8700	0,8630

Tabela 1. Valores do AUC nos três experimentos.

Para avaliar nosso método, calculamos as curvas ROC e os valores de AUC nas três configurações descritas na seção anterior utilizando validação cruzada por áudio. A Tabela 1 apresenta os resultados do AUC para as diferentes configurações do parâmetro σ . Os melhores valores de cada configuração encontram-se ressaltados em negrito. Nesta tabela, podemos notar que o desempenho do método quando comparado contra a primeira classe negativa obteve um resultado próximo do máximo (96%). Isto é devido à diferença acústica que caracteriza os sons ambientais e os sons das motosserras. O espectrograma da Figura 4 ilustra as diferenças de energia entre as bandas de frequências em função do tempo para três exemplos da nossa base.

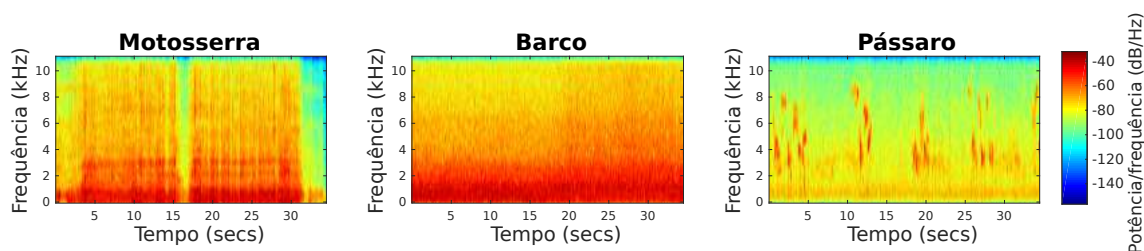


Figura 4. Exemplos de espectrogramas correspondentes a uma amostras de cada classe.

Na Figura 4 observamos que as baixas frequências, entre 0 Hz e 5000 Hz, dos motores de barcos, incluídos na segunda classe negativa, possuem um padrão similar às frequências das motosserras. No entanto, as motosserras ainda incluem uma maior quantidade de energia nas altas frequências. Embora exista uma diferença visual, dentro do espaço de características estas diferenças não são suficientes para conseguir uma separação destas classes. Por este motivo, o valor de AUC correspondente à coluna “Sons artificiais” atingiu 87% do valor máximo. Na terceira coluna, quando todos os sons da classe negativa são apresentados ao classificador, o valor de AUC aumenta, alavancado pelos resultados dos sons naturais. Na última coluna é possível observar que o método é capaz de separar sons de motosserras e artificiais de sons naturais obtendo um resultado de 91%. Estes valores mostram uma melhora dos resultados quando comparado com trabalhos anteriores, principalmente no experimento de motosserras e sons artificiais contra sons naturais [Seabra et al. 2017].

A Figura 5(b) apresenta as curvas ROC dos melhores valores da Tabela 1. É possível observar novamente que o método é mais preciso quando testado contra sons naturais

e perde precisão contra sons artificiais. Isso ocorre porque alguns sons não naturais (motores de barcos ou carros) são muito semelhantes aos sons produzidos por uma motosserra. Esta característica revela, que para uma aplicação real, a melhor localização dos sensores seria longe de estradas e margens dos rios, para minimizar a probabilidade de falso positivos. Por outro lado quando tiramos proveito desta semelhança o método volta a ganhar precisão. Isto mostra que sensores treinados para reconhecer sons artificiais podem ser posicionados em florestas densas ou estradas ilegais para monitorar atividades na região, uma vez que nelas não deveria haver presença de sons artificiais.

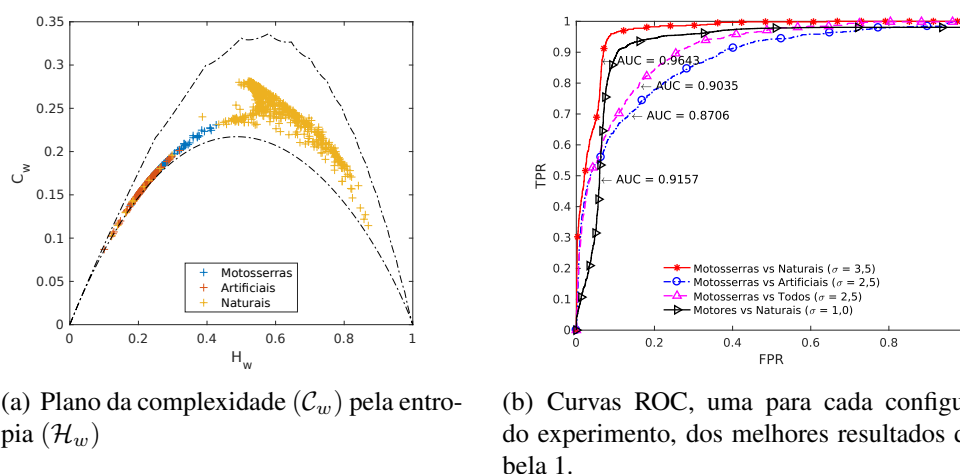


Figura 5. Resultados obtidos em nosso trabalho.

Observa-se também que nas curvas, com exceção da curva referente ao experimento de motosserras e sons artificiais vs sons naturais, a taxa de falso positivos é próxima de zero até a taxa de verdadeiro positivos ser de aproximadamente 30%. Logo é possível estabelecer um limiar de decisão, para o qual os resultados são totalmente confiáveis. A confiabilidade dos resultados é importante, pois um falso positivo poderia resultar no deslocamento desnecessário de agentes ambientais e por consequência gastar recursos, diminuindo a confiabilidade do sistema completo.

7. Conclusão

Neste trabalho apresentamos um método capaz de detectar o som de uma motosserra para ser embarcado num nó sensor de detecção de corte e extração ilegal de madeira. Nosso método inclui a decomposição Wavelet nas altas frequências com *dwt* para criação dos vetores de características acústicas e a técnica de classificação SVDD. Os resultados foram avaliados com as curvas ROC e a área sob as curvas (AUC).

Nos experimentos observamos que o método possui um desempenho ótimo quando sons naturais são usados como classe negativa, porém o desempenho diminui quando há sons não naturais similares ao de uma motosserra. Esta similaridade entretanto, alavanca os resultados quando sons de motosserras são agrupados na mesma classe positiva que sons artificiais. Na maioria dos experimentos é possível observar um limiar onde não há falso positivos mas há um número razoável de verdadeiro positivos.

Os resultados obtidos neste trabalho mostram que seria viável instalar sensores em áreas de preservação ambiental em risco, podendo-se prever extração ilegal e des-

matamento não permitido na floresta amazônica. Esses sensores devem ser posicionados longe de estradas e margens de rios para evitar ocorrência de falsos alarmes. E seria viável também instalar sensores para detectar ação humana em áreas onde não deveriam haver sons de origem artificial. Para melhorar os resultados gerais do reconhecimento podemos: 1) aprimorar a extração de características acústicas, 2) melhorar o método de classificação.

Referências

- Bertrand, A. (2011). Applications and trends in wireless acoustic sensor networks: a signal processing perspective. In *Communications and Vehicular Technology in the Benelux (SCVT), 2011 18th IEEE Symposium on*, pages 1–6. IEEE.
- Chang, W.-C., Lee, C.-P., & Lin, C.-J. (2013). A revisit to support vector data description. *Dept. Comput. Sci., Nat. Taiwan Univ., Taipei, Taiwan, Tech. Rep.*
- Colonna, J. G., Gama, J., & Nakamura, E. F. (2016a). *How to Correctly Evaluate an Automatic Bioacoustics Classification Method*, volume 9868 of *Advances in Artificial Intelligence. Lecture Notes in Computer Science (LNCS)*, pages 37–47. Springer International Publishing.
- Colonna, J. G., Gatto, B., Dos Santos, E. M., & Nakamura, E. F. (2016b). A framework for chain-saw detection using one-class kernel and wireless acoustic sensor networks into the amazon rainforest. In *Mobile Data Management (MDM), 2016 17th IEEE International Conference on*, volume 2, pages 34–36. IEEE.
- Fawcett, T. (2006). An introduction to roc analysis. *Pattern Recognition Letters*, 27(8):861–874.
- Graps, A. (1995). An introduction to wavelets. *IEEE computational science and engineering*, 2(2):50–61.
- Greenpeace (2016). Desmatamento dispara na amazônia. disponível em: <https://goo.gl/3ruDOM>.
- Khan, S. S. (2010). *Kernels for One-Class Nearest Neighbour Classification and Comparison of Chemical Spectral Data*. PhD thesis, College of Engineering and Informatics, National University of Ireland.
- Lin, J. (1991). Divergence measures based on the shannon entropy. *IEEE Transactions on Information theory*, 37(1):145–151.
- Papán, J., Jurečka, M., & Púchyová, J. (2012). Wsn for forest monitoring to prevent illegal logging. In *Computer Science and Information Systems (FedCSIS), 2012 Federated Conference on*, pages 809–812. IEEE.
- Seabra, W. J. G., Colonna, J. G., & Nakamura, E. F. (2017). Sensor acústico para detecção de desmatamento ilegal na floresta amazônica. *IX Simpósio Brasileiro de Computação Ubíqua e Pervasiva (SBCUP)*.
- Soisinthorn, T. & Rujipattanapong, S. (2007). Deforestation detection algorithm for wireless sensor networks. In *Communications and Information Technologies, 2007. ISCIT'07. International Symposium on*, pages 1413–1416. IEEE.
- Tax, D. & Duin, R. (2004). Support vector data description. *Machine learning*, 54(1):45–66.

Previendo Desempenho dos Candidatos do ENEM Através de Dados Socioeconômicos

Bernardo Stearns¹, Flavio Rangel¹,
Fabrício Firmino², Fabio Rangel^{1,2}, Jonice Oliveira^{1,2}

¹Departamento de Ciência da Computação
Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)
Rio de Janeiro – RJ – Brazil

²Programa de Pós-Graduação em Informática (PPGI)
Univesidade Federal do Rio de Janeiro
Rio de Janeiro, RJ – Brazil

{bernardo.stearns, flm.rangel, firminodefaria}@gmail.com

{fabiorangel, jonice}@ufrj.br

Abstract. *The present work analyzed the possibility to predict students performance based only in socioeconomic status. The dataset used in this work was extracted from the most important examn to join Brazilian Universities: National High School Examn (ENEM). The study compared the performance of two decision trees ensemble methods, in the task of predicting the scholar grade using socioeconomic data. The results show that socio-economic indicators can partly explain a bias in student scores.*

Resumo. *O presente artigo analisou a possibilidade de prever a performance de estudantes baseando-se apenas em suas informações socioeconômicas. O trabalho utilizou dados do exame mais importante para adentrar em universidades brasileiras: Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM). O estudo comparou a capacidade de generalizar de dois métodos de agrupamento de árvores de decisão, na tarefa de regressão da nota por meio dos dados socioeconômicos. Os resultados apontaram que existe um viés significativo das características socioculturais dos alunos sobre as notas.*

1. Introdução

A mineração de dados educacionais é um campo emergente que consiste em analisar um grande volume de dados educacionais com objetivo de obter padrões não-triviais [Vahdat et al. 2015]. Esse campo utiliza técnicas de reconhecimento de padrão em contextos educacionais para criar módulos cognitivos de alta complexidade que possibilitem entender o processo de aprendizado, por exemplo, durante a prática de jogos eletrônicos [Lee et al. 2014]. Outro exemplo é a utilização de sistemas de recomendação para intensificar o aprendizado de estudantes durante o processo de estudo, informando quais tópicos eles precisam melhorar [Segal et al. 2014].

O Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM) é uma política criada em 1998 pelo governo federal brasileiro com objetivo de avaliar a qualidade da educação das escolas de ensino médio e prover uma padronização do conhecimento. Muitas universidades

brasileiras adotaram a nota do ENEM como critério de admissão. Em 2014, o ENEM contou com mais de 9.5 milhões de inscritos. Todo aluno que se inscreve para fazer a prova precisa preencher um questionário socioeconômico. O dataset de cada ano é disponibilizado de forma gratuita para *download*¹.

O presente trabalho realizou um estudo sobre a capacidade de prever a nota de um aluno utilizando somente as informações do questionário socioeconômico como *features*. Para isso, foi necessário escolher um modelo de regressão capaz de trabalhar com um volume muito grande de dados. Árvores de Decisão são modelos capazes de atuar com sucesso nesse cenário [Hastie et al. 2005]. Além disso, modelos de árvores podem prover um entendimento das regras construídas para aquela regressão. Todo modelo que apresenta essa possibilidade é chamado de modelo *whitebox*, diferenciando-se de modelos *blackbox*, tal como Redes Neurais e Support Vector Machines [Satyanarayana et al. 2014] [Krishnaiah et al. 2014].

Um modelo de Árvore de Decisão, quando utilizado sozinho, é considerado um algoritmo preditivo "fraco" (*weak learner*). Uma possível solução é combinar diversos modelos de árvore, criando um classificador com alto poder preditivo [Woźniak et al. 2014]. Este trabalho comparou duas técnicas de *boosting* para agregar Árvores de Decisão: Gradient Boosting [Chen and Guestrin 2016] e AdaBoost [Freund and Schapire 1997]. Embora esses agregadores melhorem a capacidade da regressão, o número de hiperparâmetros se torna maior, tornando mais difícil encontrar um conjunto que defina um modelo ótimo, tanto para as árvores quanto para as técnicas de *Boosting*. A tarefa de encontrar esse conjunto é conhecida como Model Selection [Bergstra and Bengio 2012]. Para contornar esse problema, utilizou-se uma heurística de otimização baseada em exame de partículas chamada PSO (Particle Swarm Optimization) [Kennedy 2011].

O trabalho então pode ser dividido em duas etapas: otimização de hiperparâmetros e validação do experimento. Na primeira etapa, criou-se uma função objetivo utilizando duas métricas para avaliar a regressão: MAPE (Mean Absolute Percentage Error) e R Squared (R^2). Na segunda, aplicou-se 10-Fold Cross Validation utilizando como métricas: MAE (Mean Absolute Error) e R^2 . A comparação da performance dos regressores foi feita utilizando Paired t-Test sobre as amostras obtidas através dos folds da validação. Os resultados mostraram que os indicadores socioeconômicos podem explicar um viés na pontuação dos alunos, sendo possível prever a nota do aluno com um MAE de 65.9 pontos, enquanto o MAE da média é de 97.27. Alguns resultados e a metodologia apresentada neste trabalho foram publicados no 25th *European Symposium on Artificial Neural Networks, Computational Intelligence and Machine Learning*, e podem ser encontrados em [Stearns et al. 2017].

2. Metodologia

O presente trabalho propõe a utilização de métodos de aprendizado de máquina na tarefa de regressão das notas do exame de Matemática do ENEM utilizando como entrada informações socioeconômicas. O exame de Matemática foi escolhido devido a alta variância das notas. A regressão é considerada possível se o modelo preditivo consegue prever a nota melhor do que a média. Para isso é necessário um teste estatístico cuja

¹<http://dados.gov.br/dataset/microdados-do-exame-nacional-do-ensino-medio-enem>

hipótese nula admite que a regressão pela média e utilizando o modelo sejam equivalentes. As observações serão obtidas por 10-Fold Cross Validation, utilizando como métricas MAE e R^2 .

2.1. Dataset

O dataset utilizado possui aproximadamente 6.11 gigabytes, provido pelo INEP (Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira), referente ao exame do ENEM de 2014. O dataset é dividido em três partes:

- A primeira parte contém informações preenchidas pelo estudante ao fazer o registro para a prova. Consiste nas seguintes características: idade, gênero, estado civil, etnia, grau de escolaridade, tipo da escola (pública ou privada), estado de residência, região de residência.
- A segunda parte possui respostas à perguntas também respondidas no ato da inscrição:
 - Qual a escolaridade dos seus pais?
 - Qual é a renda da sua família?
 - Quantas pessoas moram na sua casa?
 - Possui acesso a televisão ou internet na sua casa?
 - Você trabalha?
 - Onde localiza-se sua residência?
- A última parte é referente a performance do estudante em cada disciplina, que consiste nos seguintes exames: Matemática, História & Geografia, Língua Portuguesa, Física & Química e Redação.

2.2. Preprocessamento

O preprocessamento aplicado no dataset pode ser resumido em: (i) Filtro de Instâncias; (ii) *Feature Selection*; (iii) *Feature Engineering*; (iv) *Data Normalization*. Tais passos foram aplicados nessa sequência visando padronizar os dados.

2.2.1. Filtro de Instâncias

Devido a presença de estudante no dataset que faltaram o exame, foi necessário remover essas instâncias. Deve-se ter em mente que o trabalho não visa prever os alunos que deixariam de comparecer ao exame.

2.2.2. Feature Selection

Essa etapa selecionou um conjunto de *features* para o modelo de aprendizado. Esse conjunto de *features* precisam compor um espaço vetorial cuja dimensão seja razoável. Dessa forma, incluir alguns itens do dataset, como por exemplo escola onde estudou, poderia levar a um espaço vetorial de dimensão imensa (número de diferentes escolas), e possivelmente atribuindo um viés ao modelo de aprendizado para alguns estudantes específicos, incapacitando o modelo de generalizar.

2.2.3. Feature Engineering

Essa etapa consistiu em transformações das *features* de forma a permitir que sejam utilizadas pelos algoritmos de aprendizado, ou mesmo melhorar o desempenho deles. Um passo importante dessa etapa se resume em mapear variáveis categóricas do dataset para valores numéricos, por meio de um encode binário. Cada possível valor para uma determinada feature categórica se torna uma nova feature.

2.2.4. Data Normalization

Data Normalization é um tipo de pré-processamento para variáveis numéricas em um vetor de dados. A heterogeneidade das *features* torna difícil uma análise estatística [Uragun and Rajan 2011]. Essa etapa usou a normalização Min-Max, que usa a informação de valor máximo e mínimo para cada feature, alterando seus valores. A Equação 1 apresenta como é obtido o valor v' a partir do valor v para a feature A . A variável u é o maior valor da feature A , enquanto l é o menor.

$$v' = \frac{v - \min_A}{(\max_A - \min_A)}(u - l) + l \quad (1)$$

2.3. Algoritmos de Aprendizado

Dois métodos de agrupamento de Árvores de Decisão foram comparados nesse trabalho: AdaBoost e Gradient Boosting. Boosting refere-se à um método efetivo de produzir modelos acurados. A escolha em utilizar Árvores de Decisão se deve ao fato de conseguirem lidar bem com grande volume de dados, além de serem modelos *whitebox*, provendo regras que geraram o modelo treinado.

2.3.1. AdaBoost

AdaBoost é um algoritmo baseado em Boosting. Os detalhes da teoria do AdaBoost estão presentes em [Freund and Schapire 1997]. Um regressor AdaBoost é um meta-estimador que utiliza múltiplas árvores combinadas ("weak learners") para produzir um modelo melhor. Cada árvore é ajustada utilizando parte do dataset. O peso de cada instância de árvore é ajustado baseado no erro da predição. A Equação 2 apresenta um AdaBoost com T regressores, cada $h_t(x)$ representa uma árvore de regressão, onde α_t é o peso associado.

$$H(x) = \sum_{t=1}^T \alpha_t h_t(x) \quad (2)$$

O AdaBoost garante que o agrupamento será melhor contanto que a performance de cada modelo seja melhor que o aleatório, sendo assim a função de perda será exponencial [Lafferty 2002].

2.3.2. Gradient Boosting

A implementação do Gradient Boosting utilizada nesse trabalho se chama XGBoost. XGBoost é uma melhoria do algoritmo padrão de Gradient Boosting [Friedman 2001]. Como qualquer outro método de Boosting, ele combina "weak learners" para produzir um melhor. O método utiliza os preditores (árvores) que minimizem a função de perda escolhida. A função de perda é composta por dois fatores: uma taxa de erro calculada sobre a validação e um fator de regularização. XGBoost é escalável e seus detalhes estão descritos em [Chen and Guestrin 2016].

2.4. Métricas de Avaliação

As seguintes métricas foram utilizadas para avaliar a performance dos regressores: Mean Absolute Error (MAE), Mean Absolute Percentage Error (MAPE) e R-Squared (R^2). Nas equações a seguir, y_i é o valor correto para o exemplo i , enquanto \hat{y}_i é a predição para o mesmo exemplo.

MAE calcula a distância absoluta entre o valor correto e a predição, para todos os exemplos, calculando uma média ao final. A Equação 3 apresenta o MAE.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i| \quad (3)$$

MAPE mede o erro médio em termos percentuais. A principal utilização dessa métrica no trabalho é a composição de uma função objetivo para a otimização de hiper-parâmetros que inclua uma métrica de erro e o R^2 . Como o resultado do MAPE se encontra no intervalo $[0, 1]$, escolheu-se essa métrica para a composição. Sua fórmula está descrita na Equação 4.

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{\hat{y}_i} \right| \quad (4)$$

R^2 calcula a razão entre a variância do estimador e a variância das observações. Seu valor está no intervalo $[0, 1]$, onde 1 representa a melhor performance. Na Equação 5, o R^2 é apresentado e \bar{y} é o valor médio para y .

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (5)$$

2.5. Otimização de Hiper-Parâmetros

Otimização de hiper-parâmetros é o problema de escolher um conjunto de hiper-parâmetros para um algoritmo de aprendizado [Bergstra and Bengio 2012]. Como o conjunto define um modelo, essa tarefa também é conhecida como seleção de modelo. Para essa etapa, é necessário um dataset e uma métrica de avaliação. Como os parâmetros do problema apresentado são todos numéricos, em um espaço vetorial, Particle Swarm Optimization (PSO) foi utilizado. Para essa otimização utilizou-se 30% do dataset original. Essa amostra do dataset não foi utilizada na validação para evitar contaminação.

No PSO, um número de partículas é posicionada no espaço de busca do problema ou função, e cada partícula avalia individualmente a função objetivo de acordo com seu posicionamento [Kennedy 2011]. Depois disso, cada partícula se move de acordo com três vetores: velocidade, $pbest$ e $gbest$. O $pbest$ é o vetor obtido pela diferença entre a sua posição e a melhor posição que a partícula visitou. O $gbest$ é obtido pela diferença entre a sua posição e a melhor posição já visitada por alguma partícula. Cada vetor possui um peso que é um parâmetro do algoritmo. No presente trabalho, cada vetor possui o mesmo peso (0.5) e utilizou-se 100 partículas. O PSO foi utilizado em sua forma canônica.

A função objetivo dessa otimização foi construída utilizando o MAPE e o R^2 . Para cada partícula, a média e o desvio padrão foi calculado repetindo a função apresentada na Equação 6 30 vezes. Para cada repetição foi feita uma amostra de tamanho 1052. Metade foi utilizado para treino e metade para avaliar. Essa amostragem considera um intervalo de confiança de 95%, com erro de 5%, do dataset original. Ao final, o resultado da função objetivo era a média das 30 execuções somando o desvio padrão, em um problema de minimização. Na Equação 6, X é a amostra. Essa função objetivo é uma das contribuições desse trabalho, cuja saída se encontra no intervalo $[0, +\infty)$, composta por duas métricas diferentes.

$$function(X) = 1 + MAPE(X) - R^2(X) \quad (6)$$

Para o XGBoost (Gradient Boosting), os hiper-parâmetros otimizados foram: *maximum depth*, *learning rate*, *minimum child weight*, *gamma*, *sub-sample size*, *column sample by tree*, e *number of rounds*. Onde *gamma* é o peso do termo de regularização. Para o AdaBoost otimizou-se os seguintes hiper-parâmetros: *maximum depth*, *number of estimators*, e *learning rate*.

2.6. Validação

A validação foi aplicada para avaliar os modelos utilizando 70% do dataset. Note que essa amostra não foi utilizada na etapa de otimização de hiper-parâmetros. Este trabalho utilizou k -Fold Cross Validation [Refaeilzadeh et al. 2009] com $k = 10$. Utilizando esse processo de validação, o dataset é dividido em 10 partes. Então, cada parte é utilizada como teste enquanto as outras 9 são usadas para treinar o modelo. O processo é repetido 10 vezes, trocando a parte utilizada como teste. Essa validação foi utilizada para calcular o resultado final da predição, após a etapa de otimização de hiper-parâmetros.

3. Resultados dos Experimentos

Primeiramente, a seleção dos hiper-parâmetros foi conduzida utilizando o PSO para os dois modelos de Boosting. Os parâmetros encontrados para ambos modelos estão descritos na Tabela 1 and Tabela 2.

A imagem da função objetivo é apresentada na Figura 1. Embora os valores dessa imagem possuem um pequeno decaimento ao longo das iterações, é importante perceber que esse valor é uma porcentagem, e uma pequena variação pode representar uma grande diferença no resultado da predição.

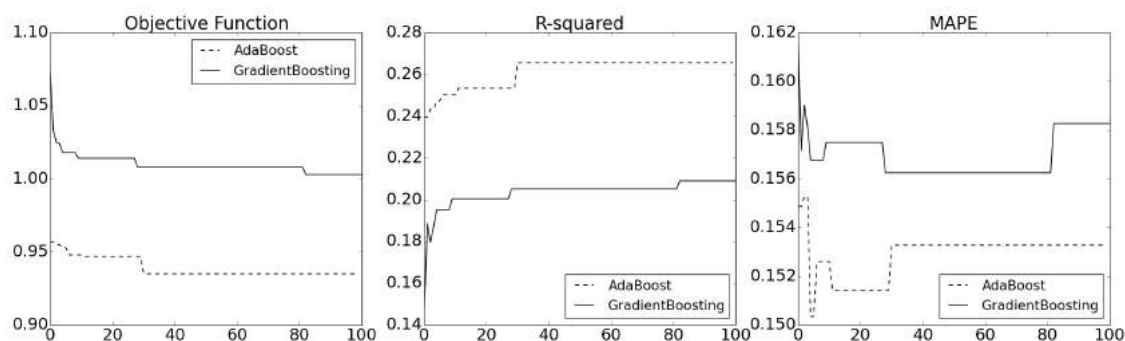
Após a otimização de hiper-parâmetros, 70% do dataset foi utilizado para aplicação do 10-Fold Cross Validation. Um teste estatístico Paired t-test foi aplicado para

Tabela 1. XGBoost Parameters

Hyper-Parameter	Value
maximum depth	14
learning rate	0.1
minimum child weight	4
gamma	5.03
subsample size	0.899
column sample by tree	0.875
number of rounds	228

Tabela 2. AdaBoost Parameters

Hyper-Parameter	Value
maximum depth	5
learning rate	0.27
number of estimators	221

Figura 1. Busca pelo conjunto de Hiper-Parâmetros utilizando PSO [Stearns et al. 2017].

obter relevância estatística sobre a comparação dos resultados. A hipótese nula afirma que a média das observações dos resultados de uma determinada métrica para ambos modelos é igual. Cada valor médio dos folds para cada métrica está presente na Tabela 3. É possível perceber que o Gradiente Boosting obteve resultado superior em ambas métricas. Além disso, ambas métricas conseguem prever o resultado melhor que o valor médio, que possui MAE de 90.27 pontos, representando que existe informação presente nos dados socioeconômicos que permite uma predição. Além disso, prever pela média representa um R^2 zero.

Tabela 3. Resultado do 10-Fold Cross Validation.

	Gradient Boosting	AdaBoost	p-valor
MAE	65.90 ± 0.11	72.66 ± 1.37	1.27×10^{-7}
R^2	0.35 ± 0.0014	0.18 ± 0.0354	1.34×10^{-7}

Como o XGBoost apresentou o melhor resultado e possui uma implementação de importância de *features* baseando-se na quantidade de vezes que uma *features* foi utilizada para um nó de decisão da árvore, aproveitou-se para analisar quais foram as informações foram mais relevantes para o modelo. A Tabela 4 apresenta um rank com as 10 *features*

mais importantes para o modelo.

Tabela 4. Ranking das Features

Rank	Feature
1	Longitude
2	Latitude
3	Idade
4	Motivo de Realizar o ENEM: Ingressar no Ensino Privado
5	Ano de Conclusão do Ensino Médio
6	Renda Mensal Familiar
7	Motivo de Realizar o Enem: Financiamento do FIES
8	Quantidade de Pessoas que Moram na mesma Residência
9	Motivo de Realizar o ENEM: Aumentar Possibilidade de Emprego
10	Idade que Começou a Exercer Atividade Remunerada

4. Conclusão e Trabalhos Futuros

O presente trabalho trouxe a proposta de avaliar dois métodos de regressão baseados em Boosting de árvores de decisão, para prever a nota de um estudante no ENEM baseando-se somente no questionário socioeconômico. Os resultados apontaram que existe um viés desses dados sobre a nota. Dois modelos foram utilizados para a tarefa de regressão: AdaBoost e Gradient Boosting. Para avaliar os modelos, três diferentes métricas foram utilizadas: MAE, MAPE e R^2 . Uma etapa de otimização de hiper-parâmetros foi realizada utilizando uma heurística de otimização baseada em enxame de partículas: PSO. Os resultados apresentaram melhor resultado para o Gradient Boosting, com alta relevância estatística. O trabalho também apresenta um rank das *features* mais importantes nesse primeiro momento, algo que pode ser utilizado como base para entender o viés na nota.

Alguns resultados dessa pesquisa foram publicados no 25th *European Symposium on Artificial Neural Networks, Computational Intelligence and Machine Learning*, cujo qualis é B1, e podem ser encontrados em [Stearns et al. 2017]. Resultados parciais foram apresentados na XXXVIII Jornada Giulio Massarani de Iniciação Científica, Tecnológica, Artística e Cultural (JICTAC 2016) da UFRJ. E esse trabalho serve como base para estudos científicos na área de educação e sociedade, com possibilidade de aplicações para melhorar o sistema de ensino brasileiro.

Contribuições do Bernardo Stearns

Embora o aluno Bernardo Stearns estivesse na graduação no decorrer do presente trabalho, ele foi responsável por todo o desenvolvimento prático desta pesquisa, tendo trabalhado em todas as etapas, desde o processamento dos dados à apresentação dos resultados. Os demais pesquisadores auxiliaram o aluno na elaboração da metodologia da pesquisa e na escrita do presente trabalho.

Referências

- Bergstra, J. and Bengio, Y. (2012). Random search for hyper-parameter optimization. *The Journal of Machine Learning Research*, 13(1):281–305.
- Chen, T. and Guestrin, C. (2016). Xgboost: A scalable tree boosting system. *CoRR*, abs/1603.02754.
- Freund, Y. and Schapire, R. E. (1997). A decision-theoretic generalization of on-line learning and an application to boosting. *Journal of Computer and System Sciences*, 55(1):119 – 139.
- Friedman, J. H. (2001). Greedy function approximation: a gradient boosting machine. *Annals of statistics*, pages 1189–1232.
- Hastie, T., Tibshirani, R., Friedman, J., and Franklin, J. (2005). The elements of statistical learning: data mining, inference and prediction. *The Mathematical Intelligencer*, 27(2):83–85.
- Kennedy, J. (2011). Particle swarm optimization. In *Encyclopedia of machine learning*, pages 760–766. Springer.
- Krishnaiah, V., Narsimha, G., and Chandra, N. S. (2014). Survey of classification techniques in data mining. *International Journal of Computer Science and Engineering*, 2.
- Lafferty, G. L. J. (2002). Boosting and maximum likelihood for exponential models. *Advances in neural information processing systems*, 14:447.
- Lee, S. J., Liu, Y.-E., and Popovic, Z. (2014). Learning individual behavior in an educational game: A data-driven approach. In *Educational Data Mining 2014*.
- Refaeilzadeh, P., Tang, L., and Liu, H. (2009). Cross-validation. In *Encyclopedia of database systems*, pages 532–538. Springer.
- Satyanarayana, N., Ramalingaswamy, C., and Ramadevi, Y. (2014). Survey of classification techniques in data mining. *International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*, 1.
- Segal, A., Katzir, Z., Gal, K., Shani, G., and Shapira, B. (2014). Edurank: A collaborative filtering approach to personalization in e-learning. In *Educational Data Mining 2014*.
- Stearns, B., Rangel, F., Rangel, F., Firmino, F., and Oliveira, J. (2017). Scholar performance prediction using boosted regression trees techniques. In *European Symposium on Artificial Neural Networks, Computational Intelligence and Machine Learning (ESANN)*. Citeseer.
- Uragun, B. and Rajan, R. (2011). Developing an appropriate data normalization method. In *Machine Learning and Applications and Workshops (ICMLA), 2011 10th International Conference on*, volume 2, pages 195–199. IEEE.
- Vahdat, M., Ghio, A., Oneto, L., Anguita, D., Funk, M., and Rauterberg, M. (2015). Advances in learning analytics and educational data mining. *Proc. of ESANN2015*, pages 297–306.
- Woźniak, M., Graña, M., and Corchado, E. (2014). A survey of multiple classifier systems as hybrid systems. *Information Fusion*, 16:3–17.

36º JAI - Jornadas de Atualização em Informática

Apresentação

A Jornada de Atualização em Informática (JAI), promovida pela Sociedade Brasileira de Computação, é um dos mais importantes eventos acadêmicos de atualização científica e tecnológica da comunidade de Computação do Brasil. A JAI compreende trabalhos de pesquisadores sêniores da nossa comunidade, oferecendo uma oportunidade única para acadêmicos e profissionais atualizarem-se em temas diversos, interagindo com líderes das mais variadas áreas de pesquisa no Brasil. A JAI é tradicionalmente oferecida no escopo do Congresso da Sociedade Brasileira de Computação (CSBC). Neste ano de 2017, temos a sua 36ª edição, que irá ocorrer como parte do XXXVII CSBC na cidade de São Paulo, de 2 a 6 de julho, na Universidade Presbiteriana Mackenzie, Campus Higienópolis.

Gostaríamos de agradecer imensamente aos autores que submeteram propostas para a edição de 2017 da JAI, bem como aos membros do Comitê de Programa, os quais – autores e avaliadores – contribuíram para a seleção de um conjunto de textos que tratam de temas atuais, avançados e de grande relevância técnico-científica. Agradecemos também a atenção e o apoio da organização geral do CSBC 2017 e da Diretoria da SBC que propiciaram todas as condições para a realização desta edição da JAI.

É importante destacar que a JAI favorece a participação de pesquisadores renomados, nacional e internacionalmente, com a colaboração de talentos emergentes, propiciando um ambiente rico para a evolução e disseminação do conhecimento no âmbito do CSBC.

Nesta edição da JAI, são apresentados seis textos, sendo três deles cursos convidados, a partir de sugestões da comunidade organizadora do evento. Os textos abordam um amplo espectro de temas atuais e relevantes para a computação e suas aplicações, e certamente contribuirão para o desenvolvimento de soluções complexas e multidisciplinares relacionadas aos Grandes Desafios da Computação.

Desejamos a todos os participantes do CSBC uma excelente Jornada de Atualização de Informática e reiteramos nossos imensos agradecimentos à comunidade da computação no Brasil. Esperamos que a compilação desses ricos textos contribua para motivar soluções originais, inovadoras, e comprometidas com a evolução da riqueza social. Uma sociedade que pretende participar da construção do futuro da humanidade, não somente como expectadora, necessita construir e nutrir incessantemente o espírito criativo e crítico da pesquisa.

Flávia C. Delicato (UFRJ) e Paulo de F. Pires (UFRJ) e Ismar Frango Silveira (Mackenzie)

Comitê Organizador

Coordenação Geral

Flávia Coimbra Delicato (UFRJ), Paulo de Figueiredo Pires (UFRJ)

Coordenação Local

Ismar Frango Silveira (Mackenzie)

Comitê de Programa

Alfredo Goldman (IME-USP), André Carlos Ponce de Leon Ferreira de Carvalho (USP), Bruno Schulze (LNCC), Cecilia Rubira (UNICAMP), Celina de Figueiredo (UFRJ), Cláudia Linhares Sales (UFC), Claudia Werner (UFRJ), Fabio Kon (IME-USP), Fabio Protti (UFF), Fabiola Greve (UFBA), Jose Carlos Maldonado (ICMC-USP), Jose Marcos Nogueira (UFMG), Karin Breitman (Dell EMC), Luci Pirmez (UFRJ), Marta Mattoso (UFRJ), Philippe O. A. Navaux (UFRGS), Rodolfo Azevedo (UNICAMP), Thais Vasconcelos Batista (UFRN)

Minicursos

JAI 1 - Simulação de Multidões - Aplicações em Segurança e Conforto de Pessoas

Soraia Musse (PUCRS) e Vinícius Cassol (Universidade do Vale do Rio dos Sinos)

Simulação de multidões é hoje em dia uma área importante em aplicações como entretenimento e segurança. Particularmente, em segurança, o planejamento de evacuação de ambientes públicos, é uma tarefa importante e difícil no projeto de construção de um novo empreendimento. Neste curso apresentaremos alguns tópicos importantes sobre a área de pesquisa em simulação de multidões com foco especificamente em sistemas de evacuação de ambientes. Serão abordadas algumas ferramentas para simular multidões e também discutidos aspectos relacionados à análise do comportamento de uma multidão.

Bio: Soraia Raupp Musse possui graduação em Bacharelado em Informática pela Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (1990), mestrado em Ciências da Computação pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (1994), mestrado em Cours Postgrade En Informatique Réalité Virtuelle - Ecole Polytechnique Federale de Lausanne na Suíça (1997), doutorado em Doctorat En Science - Ecole Polytechnique Federale de Lausanne (2000) sob supervisão do Prof. Daniel Thalmann e pós doutorado pela University of Pennsylvania em 2016 (USA), onde trabalhou com o Prof. Norman Badler, um dos pioneiros na área de humanos virtuais. Atualmente é professora adjunto da PUCRS, atuando na pós-graduação em Ciência da Computação, orientando alunos de graduação, mestrado, doutorado e bolsistas posdoc. É coordenadora do VHLAB (www.inf.pucrs.br/vhlab) e bolsista de produtividade do CNPq (PQ1D). Sua pesquisa tem ênfase em Processamento Gráfico (Graphics), principalmente nos seguintes temas: computação gráfica, agentes sintéticos virtuais, multidões de agentes virtuais e visão computacional. Já publicou mais de 25 artigos em periódicos, sendo vários deles de grande impacto. Em 2007 publicou um livro em coautoria com Daniel Thalmann, na área de Simulação de multidões (título: Crowd Simulation), editado pela SpringerVerlag, reeditado em 2013. É presidente da Comissão Especial de Jogos da SBC desde agosto de 2016.

Vinícius Jurinic Cassol é doutor em Ciência da Computação pela PUCRS - 2016. Durante o doutorado foi supervisionado pela Profa. Dra. Soraia Raupp Musse, tendo sua pesquisa focada em simulação de multidões. Em 2013, realizou doutorado sanduiche na Universidade da Pennsylvania, sob supervisão do Prof. Dr. Norman Badler. Atualmente é professor da Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS onde coordena o Curso de Desenvolvimento de Jogos Digitais da universidade em São Leopoldo e Porto Alegre/RS além do Estúdio de Jogos Atomic Rocket Entertainment. É membro da Comissão Especial de Jogos da SBC desde agosto de 2016. Entre as suas principais áreas de interesse encontram-se simulação de multidões, computação gráfica, gamificação e o processo de produção e desenvolvimento de jogos.

JAI 2 - A Aplicação de Métodos Qualitativos em Computação

Raquel Prates (Universidade Federal de Minas Gerais) e Carla Leitão (PUC-Rio)

A ampla adoção da tecnologia na vida das pessoas tem gerado uma necessidade e interesse maior em profissionais e pesquisadores da área de computação em conhecer aspectos humanos, psicológicos, e socioculturais dos usuários. Para isso, tem-se percebido uma crescente adoção de métodos de pesquisa qualitativos na área de computação tradicionalmente usados em pesquisas nas ciências humanas e sociais. Assim, o objetivo deste capítulo é apresentar uma visão geral de métodos qualitativos de pesquisa e suas principais características, discutindo suas diferenças em relação métodos quantitativos. São apresentados os métodos que são comumente utilizados na área de computação e discutidos alguns exemplos de sua aplicação em diferentes subáreas da computação.

Bio: Raquel Oliveira Prates possui graduação em Ciência da Computação pela Universidade Federal de Minas Gerais (1991), mestrado em Informática pela PUC-Rio (1994) e doutorado em Informática pela PUC-Rio (1998). É professora associada da Universidade Federal de Minas Gerais desde 2006. Fez pós-doutorado na Pennsylvania State University, no College of Information Systems and Technology de agosto de 2014 a julho de 2015. Sua pesquisa é em Interação Humano Computador e Sistemas Colaborativos, atuando principalmente nos seguintes temas: engenharia semiótica, interação humano-computador, avaliação de interfaces, comunicabilidade, design de interfaces e programação por usuário final. É coordenadora da Comissão Especial de Sistemas Colaborativos (CESC) desde 2015 e foi Coordenadora da Comissão Especial de Interação Humano-Computador (CEIHC) da SBC de 2006 a 2010. Atualmente ela é também representante da SBC no Comitê Técnico de IHC (TC13) da IFIP TC13. Foi membro do Comitê Executivo do SIGCHI de 2001 a 2004 e participa como membro de diversos comitês de programa nacionais e internacionais de conferências nas áreas de IHC e Sistemas Colaborativos.

Carla Faria Leitão é graduada em Psicologia pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (1988), especialista em Saúde Mental pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1993) e Mestre (1995) e Doutora (2003) em Semiotic Engineering Research Group (SERG), no Departamento de Informática da PUC-Rio. Sua pesquisa concentra-se na área de Interação Humano-Computador (IHC) e na investigação dos impactos culturais, sociais e psicológicos da experiência com Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs). Uma das pioneiras na contribuição interdisciplinar da psicologia à área de IHC no Brasil, é coautora de inúmeros artigos e de dois livros internacionalmente publicados sobre métodos qualitativos de investigação em Engenharia Semiótica, uma teoria interdisciplinar de base semiótica para a análise científica de TICs. Seus principais interesses na área são: abordagens teórico-metodológicas para o estudo dos impactos de TICs, interdisciplinaridade e desenvolvimento de raciocínio computacional.

JAI 3 - Preservação de Privacidade de Dados: Fundamentos, Técnicas e Aplicações Felipe Brito (Universidade Federal do Ceará) e Javam Machado (Universidade Federal do Ceará)

Muitas organizações realizam análises importantes sobre dados a fim de descobrir padrões ocultos e prever tendências futuras. Para que muitas destas análises sejam realizadas, é necessário que os dados estejam disponíveis para acesso, seja por meio de publicações ou de serviços de consulta. Entretanto, dados acessíveis pelo público podem conter informações que identificam unicamente indivíduos, causando assim uma violação de privacidade. Manter a utilidade dos dados para que análises sejam realizadas e simultaneamente garantir a privacidade dos indivíduos é um problema que tem recebido bastante atenção nos últimos anos. Este minicurso tem por objetivo apresentar os principais conceitos em torno da preservação de privacidade de dados, além das técnicas para assegurar que indivíduos não possam ser reidentificados a partir do compartilhamento de suas informações. Adicionalmente, serão demonstradas aplicações em cenários reais que utilizam as técnicas apresentadas como forma de preservação de privacidade, enquanto que buscam reter a maior quantidade de informação possível para eventuais análises.

Bio: Felipe Timbó Brito possui graduação em Computação pela Universidade Federal do Ceará (2010). Também é Mestre em Ciência da Computação pela Universidade Federal do Ceará (2015) com ênfase em privacidade de dados de trajetória. Atualmente é doutorando em Computação, também pela Universidade Federal do Ceará e atua como líder de projetos de pesquisa e desenvolvimento em Computação no Laboratório de Sistemas e Banco de Dados (LSBD/UFC). Possui publicações internacionais em diversas áreas, incluindo privacidade de dados. Suas áreas de interesse são mineração e privacidade de dados.

Javam de Castro Machado possui doutorado em Informática pela Université de Grenoble (1995). É Professor Titular do Departamento de Computação da Universidade Federal do Ceará, foi vice-diretor do Centro de Ciências da mesma Universidade e atualmente coordena o Laboratório de Sistemas e Banco de Dados (LSBD/UFC). É também coordenador de vários projetos de pesquisa e desenvolvimento em Computação, além de atuar como pesquisador do Programa de Mestrado e Doutorado em Ciência da Computação da UFC. Participa de projetos de cooperação internacional com universidades Europeias e tem vários artigos publicados em veículos nacionais e internacionais, inclusive no tema de privacidade de dados em nuvem e privacidade de dados móveis. No momento suas áreas de interesse são privacidade de dados, sistemas de banco de dados e computação em nuvens, além de sistemas distribuídos.

JAI 4 - Computação aplicada a Cidades Inteligentes: Como dados, serviços e aplicações podem melhorar a qualidade de vida nas cidades

Fabio Kon (USP) e Eduardo Felipe Zambom Santana (USP)

Com o crescimento da população urbana, problemas de infraestrutura e de acesso limitado a recursos em diversas cidades ao redor mundo afetam negativamente a vida de bilhões de pessoas. Tornar as cidades mais inteligentes pode ajudar a melhorar os serviços urbanos aumentando a qualidade de vida de seus cidadãos. A Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) são meios fundamentais para esse objetivo. Uma plataforma de software pode ser usada para facilitar enormemente a criação e integração de aplicações robustas para cidades inteligentes. Entretanto, ainda existem desafios técnicos e científicos significativos que necessitam ser enfrentados antes que essas plataformas possam ser amplamente utilizadas. Este capítulo apresenta o estado da arte e o estado da prática em iniciativas e ambientes de cidades inteligentes. Para isso, analisamos diversas iniciativas de Cidades Inteligente ao redor do mundo e descrevemos as tecnologias mais utilizadas por esses projetos e seus requisitos funcionais e não-funcionais. Finalmente, apresentamos os desafios de pesquisa ainda em aberto e discutimos a nossa visão para a área no futuro.

Bio: Fabio Kon é Professor Titular de ciência da computação do IME-USP, coordenador adjunto de pesquisa para inovação da FAPESP e Editor-Chefe do SpringerOpen Journal of Internet Services and Applications. Atua nas áreas de Empreendedorismo Digital, Software Livre, Sistemas Distribuídos e Cidades Inteligentes. Além de forte atuação como pesquisador, tendo publicado vários artigos internacionais de alto impacto e recebido o ACM Middleware 10-Year Best Paper Award, Fabio é conselheiro voluntário de várias startups de software, inclusive na área de Cidades Inteligentes. Em 2016 Fabio foi agraciado com o título de ACM Distinguished Scientist.

Eduardo Felipe Zambom Santana é bacharel (2007) e mestre (2010) em Ciência da Computação pela Universidade Federal de São Carlos. Atualmente é aluno de doutorado no IME-USP e professor na Universidade Anhembi Morumbi. Atua nas áreas de Sistemas Distribuídos, Cidades Inteligentes e Simulação. Tem mais de 10 anos de experiência como programador e arquiteto de sistemas. Nos últimos anos tem realizado pesquisas na área de cidades inteligentes principalmente em simulações de cenários de mobilidade urbana e na identificação de requisitos funcionais e não-funcionais para o desenvolvimento de uma plataforma de software para cidades inteligentes.

JAI 5 - Algoritmos e Modelos de Programação em Big Data

Fábio Porto (LNCC)

A disponibilização crescente de dados em grandes volumes nas ciências, indústria, governo e redes sociais está transformando o modo pelo qual essas áreas se desenvolvem. No centro dessas mudanças estão algoritmos desenhados especialmente para lidar com os desafios em Big Data e sua adaptação para os modelos a la MapReduce. Neste contexto, este curso apresenta os principais modelos de programação Big Data, e classifica e discute os principais algoritmos de apoio ao processamento de dados em grande volume, bem como alguns exemplos dos que implementam novas estratégias para a busca de padrões em Big Data.

Bio: Fabio Porto é Pesquisador Senior do Laboratório Nacional de Computação Científica e Coordenador do Laboratório Data Extreme Lab (DEXL). Possui Doutorado e Mestrado em Informática pela PUC-Rio, em 2001 e 1997, respectivamente. Foi pesquisador sênior da EPFL, em Lausanne, entre 2004 e 2009. Foi Coordenador geral do SBBB 20015 e é um dos Coordenadores gerais da Conferência Internacional Very Large Data Bases, a realizar-se em 2018. Seu interesse de pesquisa principal está no desenvolvimento de técnica e algoritmos para análise e gerência de grandes volumes de dados. Participa de colaborações internacionais, incluindo os projetos MUSIC, do qual é coordenador, em parceria com o INRIA, França, e do projeto HPC4e, de cooperação com a EU. No nível nacional, tem colaborações com diversas instituições, incluindo: Observatório Nacional, FIOCRUZ (ICICT e CIDACT), Comitê Olímpico Brasileiro e DELL-EMC.

JAI 6 - Deep Learning - Teoria e Prática

Esteban Clua (Universidade Federal Fluminense) e Cristina Nader Vasconcelos (Universidade Federal Fluminense)

Redes Neurais Profundas veem provocando uma grande revolução na indústria de TI nos últimos anos, abrindo diversos horizontes e possibilidades para as mais diversas áreas e aplicações. Graças ao investimento de grandes empresas, como NVIDIA, Google, Microsoft, IBM, dentre outras, inúmeras ferramentas e plataformas vêm se tornando acessíveis para aplicar Deep Learning em diversas soluções de problemas. Neste minicurso serão apresentados conceitos básicos de redes neurais profundas, algumas bibliotecas e ferramentas, arquiteturas de GPUs e como as mesmas são capazes de viabilizar essa emergente área da computação.

Bio: Cristina Nader Vasconcelos possui graduação no curso de Bacharel em Informática pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (2003), mestrado em Informática pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (2005) e doutorado (2009) pela mesma instituição. Tem experiência na área de Ciência da Computação, com ênfase em Computação Visual, atuando principalmente nos seguintes temas: Visão Computacional e Processamento de Imagens, Reconhecimento de Padrões e Computação Gráfica. Suas contribuições principais incluem temas de processamento genérico paralelo em hardware gráfico aplicados a tarefas de visão computacional, métodos de otimização discreta em grafos para computação visual, processamento, gerenciamento e formatos de imagens e vídeo, estruturas de dados espaciais. Desde 2014, tem atuado na divulgação e formação de pesquisadores na área de aprendizado profundo. Hoje é professora adjunta da Universidade Federal Fluminense no Instituto de Computação.

Esteban W. Gonzalez Clua é professor da Universidade Federal Fluminense e coordenador do UFF Medialab. Em 2009 e em 2013 foi Jovem Cientista do Nosso Estado pela FAPERJ. Possui graduação em Computação pela Universidade de São Paulo, mestrado e doutorado em Informática pela PUC-Rio. Sua atuação está especialmente focada nas áreas de Vídeo Games, Realidade Virtual, GPUs e visualização. É um dos fundadores do SBGames (Simpósio Brasileiro de Games e Entretenimento Digital). Em 2015 foi nomeado NVIDIA Fellow. Em 2007 recebeu o prêmio da ABRAGAMES como o maior contribuidor da academia para a indústria de jogos digitais no Brasil. Esteban é membro do comitê de programa das mais importantes conferências na área de entretenimento digital. Atualmente é coordenador do Centro de Excelência da NVIDIA no Brasil, que funciona no instituto de computação da Universidade Federal Fluminense. Esteban é do conselho de inovação da Secretaria da Cultura do Estado do Rio de Janeiro, membro da comissão permanente do Rio Criativo, Membro do Fórum permanente de Inovação e Tecnologia da Assembleia Legislativa do Rio de Janeiro e membro do conselho da Agência de Inovação da UFF.

43° SECOMU - Seminário de Computação na Universidade

Apresentação

Dentro do tema "Computação para tudo e tod*s", o SECOMU deste ano convida três professores universitários de destaque em suas respectivas áreas para coordenar painéis de discussões sobre três questões contemporâneas de grande importância para a computação e a sociedade: ensino de computação, gênero em computação e ética em inteligência artificial.

A Profa. Claudia Melo, especialista em pesquisa qualitativa e métodos ágeis de desenvolvimento de software da UnB irá coordenar um painel sobre diversidade de gênero na Computação. As diferenças globais entre gêneros vêm sendo alvo de inúmeras discussões, pesquisas e ações. O abismo entre os gêneros na computação parece ser maior do que nas demais áreas. Quais as consequências de termos uma área dominada (pelo menos numericamente) por homens? Podemos fazer algo em relação a isso? Quais são as alternativas?

O Prof. Marcelo Duduchi, especialista em Educação em Computação da FATEC-SP irá coordenar um painel sobre ensino de Computação no Ensino Médio. Em diversos países da Europa e da América do Norte existem iniciativas nacionais para o ensino de programação no ensino médio enquanto no Brasil essas iniciativas são limitadas e pontuais, muitas vezes restringindo-se ao uso de computadores somente para o ensino de aplicativos. A reforma do ensino médio aprovada recentemente pelo Senado flexibiliza o conteúdo a ser ensinado aos alunos e muda a distribuição do conteúdo das disciplinas tradicionais ao longo dos três anos incentivando a ampliação de escolas em tempo integral. Nesse cenário, este painel discutirá os desafios e oportunidades do ensino de Computação, incluindo pensamento computacional e desenvolvimento de software, no ensino médio no Brasil e a melhor forma de implementá-lo para que seja efetivo.

Finalmente, o Prof. Wagner Meira, especialista em Sistemas Distribuídos e Mineração de Dados da UFMG irá coordenar um painel sobre as questões éticas da computação no século 21, com especial ênfase nos questionamentos trazidos pelos avanços da Inteligência Artificial. Tem havido um crescente reconhecimento que a presença constante e diversificada de algoritmos em várias dimensões das nossas vidas traz novos desafios para garantir, além de eficiência e eficácia, justiça, responsabilidade e transparência na sua execução. Já podemos observar iniciativas da academia, indústria, legisladores, terceiro setor e governo no sentido de evitar ou minimizar discriminação ou viés em respostas automáticas, entre outros potenciais problemas. Este painel tem por objetivo apresentar essa nova realidade e o que tem sido feito até o momento, discutir tendências, oportunidades e o que muda em termos de ensino, pesquisa e desenvolvimento tecnológico no âmbito de tanto universidades quanto outras organizações e sociedade em geral.

Como vocês podem ver, os três painéis serão extremamente interessantes e contarão com a participação de grandes pensadores da academia e da indústria. Não deixem de comparecer pois as discussões serão inesquecíveis.

Fabio Kon (IME/USP - Coordenador do SECOMU'2017)

Comitê Organizador

Coordenação Geral

Fabio Kon (USP)

Coordenação Local

Luciano Silva (Mackenzie)

44° SEMISH - Seminário Integrado de Software e Hardware

Apresentação

O SEMISH, principal fórum científico do Congresso da Sociedade Brasileira de Computação (CSBC), está em sua quadragésima quarta edição e ocorre em São Paulo, de 2 a 4 de julho, juntamente com o XXXVII CSBC. Este ano o Congresso da SBC discute a "Computação para tudo e tod*s". O SEMISH2017 acompanha essa temática.

Nesta edição, aceitamos o desafio proposto pela Diretoria da SBC de renovar a realização do SEMISH com a realização de um hackathon, um programa centrado na apresentação de palestras em tópicos "quentes" da computação, além dos artigos completos.

O hackathon tem como objetivo desenvolver soluções de objetos inteligentes conectados a alguma plataforma de computação em nuvem. Os projetos serão avaliados por uma comissão julgadora, composta por membros da academia e do mercado. Agradecemos desde já aos patrocinadores, em particular à QUALCOMM que abraçou esta ideia desde o início.

As palestras selecionadas e que constituem o núcleo central da programação apresentam temas de pesquisa atuais tipicamente associados a Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia (INCT). Os tópicos cobertos vão desde o estágio atual da micro e nanoeletrônica no Brasil, ao tratamento e segurança dos dados incluindo aplicações em cidades inteligentes, passando pelo impacto da pesquisa ao longo dos 50 anos do Prêmio Alan Turing.

Para os artigos completos, foram recebidas 26 submissões. Cada um deles foi avaliado por pelo menos três avaliadores, perfazendo um total de 97 revisões, que resultou na seleção de 8 artigos, ou seja, cerca de 31% de taxa de aceitação. Estes artigos completos estão incluídos no programa através de apresentações breves e como posters.

Os artigos cobrem tópicos de otimização e aprendizagem de máquina com aplicações em indústrias de café, ensino (alocação de escolas e merenda escolar), solução para a medição de grandezas geomagnéticas, análise de dados de taxis, cuidado dos usuários com seus dispositivos móveis e impacto da produção de vídeoaulas por instrutores novatos.

Agradecemos à preciosa colaboração dos membros do comitê de programa e dos revisores associados, além da confiança que nos foi depositada pela Diretoria da SBC e pelos Coordenadores Gerais do CSBC.

Desejamos que a programação que montamos seja do agrado dos participantes atingindo assim os objetivos deste que é um dos mais tradicionais eventos da Computação no Brasil.

José Augusto Suruagy Monteiro (UFPE)

Comitê Organizador

Coordenação Geral

José Augusto Suruagy Monteiro (UFPE)

Coordenação do Hackathon

Kiev Gama (UFPE)

Coordenação Local

Calebe de Paula Bianchini (Mackenzie)

Comitê de Programa

Anne Magaly de Paula Canuto (UFRN), Antonio Abelém (UFPA), Antonio Alberti (INATEL), Antônio Augusto Fröhlich (UFSC), Antonio Lopes Apolinário Júnior (UFBA), Augusto Sampaio (UFPE), Celso Alberto Saibel Santos (UFES), Cláudia Linhares (UFC), Edson Norberto Cáceres (UFMS), Edward David Moreno Ordonez (UFS), Eliana Silva de Almeida (UFAL), Fernando S. Osório (ICMC-USP), Francisco Vilar Brasileiro (UFCEG), George Luiz Medeiros Teodoro (UNB), Gina Oliveira (UFU), Heloisa Camargo (UFSCar), Jacobus Willibrordus Swart (UNICAMP), José Carlos Maldonado (ICMC-USP), José Maria Nazar David (UFJF), Jussara Almeida (UFMG), Kelly Braghetto (IME-USP), Liliane dos Santos Machado (UFPB), Luiza de Macedo Mourelle (UERJ), Márcia Ito (IBM), Marco Casanova (PUC-Rio), Maria Luiza Machado Campos (UFRJ), Patrícia A. Jaques Maillard (UNISINOS), Plácido Rogério Pinheiro (UNIFOR), Raquel Oliveira Prates (UFMG), Reginaldo Palazzo Junior (UNICAMP), Rosiane de Freitas (UFAM), Sand Luz Corrêa (UFG), Simone de Lima Martins (UFF), Taisy Weber (UFRGS), Teresa Bernarda Ludermir (UFPE), Thais Vasconcelos Batista (UFRN), Wagner Meira (UFMG)

Revisores Associados

Carlos Ferraz (UFPE), Carlos Diego Rodrigues (UFC), Daniela Barreiro Claro (UFBA), Frederico Lopes (UFRN), Kalinka Castelo Branco (ICMC-USP), Luiz Martins (UFU), Paulo Aguiar (UFRJ), Pedro Valle (USP), Rita Suzana Pitangueira Maciel (UFBA), Sérgio Manuel Serra da Cruz (UFRRJ), Tiberius Bonates (UFC), Vaninha Vieira (UFBA)

Palestras

Cenários e Perspectivas em CHIPS: a Micro e a Nanoeletrônica no Brasil

Nilton Morimoto (USP)

Ano após ano, vê-se que cada usuário cibernético de ponta acrescenta ao seu mundo pelo menos 05 a 10 novos processadores. Isto significa que o spray computacional vem se tornando uma realidade, que a ubiquidade também já está às portas e que a invisibilidade da computação está por vir. A internet das coisas, as redes de sensores sem fio e as redes veiculares são exemplos de cenários repletos de processadores, dispositivos de comunicação sem fio, memórias, etc. Todos estes itens são chips, isto é, dispositivos microeletrônicos desenvolvidos a partir do Silício e também conhecidos circuitos integrados. A escala de integração SLSI (Super Large Scale Integration) de dispositivos em um chip é de 1.000.000 a 10.000.000. Este é praticamente o limite da microeletrônica. Para o futuro, a expectativa é que o grafeno, uma forma pura de carbono descoberta em 2004, venha a substituir o Silício. O grafeno e os nanotubos de carbono (grafeno enrolado em forma de cilindro) são as bases das pesquisas em nanoeletrônica. Muitos dos conceitos bem estabelecidos em hardware e software têm sido revisitados e novos desafios vêm sendo propostos a cada dia. Uma particularidade interessante no cenário brasileiro é que poucos conhecem os movimentos da microeletrônica no Brasil. Os cenários e perspectivas em chips, grafeno e eletrônica orgânica ainda não foram amplamente divulgados. Esta palestra lida com este desafio: apresentar à comunidade o estado da arte, os projetos em andamento, os resultados de pesquisa e as grandes oportunidades da nano e microeletrônica no Brasil.

Bio: Nilton Morimoto é bacharel em Física (1984) pelo Instituto de Física da USP, mestre (1987) e doutor (1995) em Microeletrônica pela Escola Politécnica da USP. Desde 1982 atua junto ao Laboratório de Sistemas Integráveis (LSI) da Escola Politécnica da USP, onde atualmente é o Coordenador da Divisão de Microssistemas Integrados e coordena diversas projetos de pesquisa. Especialista em processos de deposição de filmes finos. É autor/co-autor de mais de 110 artigos publicados em congressos e revistas técnicas nacionais e internacionais. Membro do CATI/SEPIN (desde 2009); Diretor Vice-Presidente e Coordenador da IC Design House da LSI-TEC (Associação do Laboratório de Sistemas Integráveis). Presidente (2008/2012 e 2016/2018), Vice-Presidente (2006/2008 e 2012/2016), Diretor Financeiro (2002/2006) e membro do Conselho da Sociedade Brasileira de Microeletrônica (Sbmicro) por diversas vezes. Coordenador Geral (desde 2013) e Membro da Comissão de Coordenação do Programa CI-Brasil (desde 2005). Diretor Tesoureiro do IPD Eletron (2017/2019).

Evolução e Desafios da Computação Paralela e de Alto Desempenho

Alfredo Goldman (USP), Emilio Francesquini (UNICAMP), Rogério Gonçalves (UTFPR)

Nesta palestra apresentaremos uma visão geral da área de programação paralela e os desafios de pesquisa rumo ao exascale. Após um breve histórico da evolução dessas tecnologias, mostraremos as vantagens e limitações das principais ferramentas atualmente em uso assim como as principais tendências para o futuro.

Bio: Alfredo Goldman is Associate Professor at the University of São Paulo (USP), Brazil. He received his PhD in Computer Science from Grenoble's Polytechnic Institute in 1999, and his thesis addressed scheduling on Parallel Computing. Author of over 80 scientific publications in journals and at international conferences. He was co-PC chair in 2014 of SBAC-PAD in Paris and IEEE NCA in Boston. He is currently subject area editor of Elsevier Parallel Computing. Recently he was invited co-editor on special issues on Concurrency, Practice and Experience, JISA and Parallel Computing. He is track-chair on Grid and Cloud Computing on Europar 2017 and coordinator of an Advanced School on Smart Cities also in 2017.

Emilio Francesquini is currently a post-doctoral fellow at the Institute of Computing of the University of Campinas (UNICAMP), Brazil. He received his B.Sc. (2003) and M.Sc. (2007) degrees from the University of São Paulo (USP), Brazil, and a joint Ph.D. degree from USP and the University of Grenoble, France in 2014. His main research interests include: actor application programming, actor runtime environments, distributed systems, concurrent programming aimed at hierarchical shared-memory multi-core and many-core platforms, and emerging memory technologies.

Rogério Gonçalves is Professor at the Federal University of Technology – Paraná (UTFPR), campus Campo Mourão, Paraná, Brazil. He received his B.Sc. in Informatics (2006) and M.Sc. in Computer Science (2008) degrees from the State University of Maringá (UEM), Brazil. He received his Ph.D. in Computer Science from University of São Paulo (USP), Brazil in 2016. He has experience in Computer Science, having as main research lines and interests: Computer Architecture, Parallel Computing, Heterogeneous Computing and Code Offloading.

Os Avanços em Ciência e Tecnologia para a Internet do Futuro: Aplicações em Cidades Inteligentes

Daniel Macêdo Batista (USP)

Com a popularização das tecnologias da Computação em Nuvem e da Computação Móvel e com o crescente uso de Redes de Sensores e de tecnologias de Big Data, uma infinidade de novas possibilidades de aplicações estão surgindo. Estas incluem novas formas de colaboração em tempo-real, infraestruturas para Cidades Inteligentes (Smart Cities), sistemas sofisticados para Business Intelligence e ciberinfraestrutura para eScience possibilitando o avanço da pesquisa científica por caminhos nunca antes imaginados. Essa convergência de tecnologias aliada às necessidades e preocupações relativas às aplicações digitais do futuro levaram pesquisadores a propor novas abordagens de investigação científica e tecnológica que possibilitem o desenvolvimento da Internet do Futuro. Essa Internet do Futuro será o elemento chave que possibilitará a realização do sonho das Cidades Inteligentes, nas quais a infraestrutura da cidade será utilizada em sua plenitude de modo a oferecer uma melhor "experiência do usuário" a todos os seus habitantes e visitantes, independente de sua classe social. Esta palestra irá não só apresentar as pesquisas em andamento no contexto do projeto InterSCity do INCT da Internet do Futuro para Cidades Inteligentes como também irá discutir o estado atual dos projetos de pesquisa, das soluções de software e dos testbeds ao redor do mundo nos tópicos de Internet do Futuro e Cidades Inteligentes, destacando as lições aprendidas e os pontos de pesquisa e desenvolvimento em aberto.

Bio: Desde 2011 Daniel Macêdo Batista é professor no DCC da USP onde tem ministrado anualmente a disciplina de Programação para Redes de Computadores no Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação. Prof. Daniel é Bacharel em Ciência da Computação pela UFBA, mestre e doutor em Ciência da Computação pela Unicamp. Na USP, Prof. Daniel já formou 5 mestres e 3 doutores cujas dissertações e teses avançaram o estado-da-arte em economia de energia para datacenters, arquitetura orientada a serviços, virtualização, segurança de redes, redes sociais, redes autônomicas, Internet das Coisas e RFID. A pesquisa que o Prof. Daniel vem realizando nos tópicos de Internet das Coisas e RFID foi premiada nos últimos anos com o segundo lugar do ex-orientando de doutorado Rafael Mota no concurso ACM SAC Student Research Competition durante o ACM Symposium on Applied Computing em 2014 e também com a menção honrosa do artigo "Um Protocolo FSA com Resolução Imediata de Colisões para Sistemas RFID sob o Efeito Captura", por ter sido um dos três melhores artigos, durante o Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos (SBRC) em 2016. Prof. Daniel atua com regularidade como consultor Ad-Hoc da FAPESP, CNPq, FAPESB e RNP e como membro de comitês de programa de cerca de 15 eventos anualmente. Desde 2013 o Prof. Daniel é bolsista de Produtividade nível 2 do CNPq.

50 anos de “Alan M. Turing Award (1966-2016): Uma Análise do Impacto dos Pesquisadores Premiados na Ciência da Computação e na Sociedade

Luís C. Lamb (Instituto de Informática, UFRGS, Porto Alegre, Brasil)

O ano de 2016 marca o Cinquentenário do Prêmio Científico mais importante de Ciência da Computação. A premiação “ACM Alan M. Turing Award”, concedida anualmente pela Association for Computing Machinery (ACM), é considerada como equivalente a um “Prêmio Nobel” de Ciência da Computação. Ao longo dessas décadas, pesquisadores de impacto em diversas áreas de pesquisa foram reconhecidos pelo mérito do seu trabalho científico. Estes trabalhos tiveram não somente impacto científico - pois avançaram significativamente as tecnologias usadas por todos - mas transformaram a Ciência da Computação em alavanca de progresso das sociedades mais avançadas, com impactos sociais, culturais e econômicos. Será realizada uma apresentação da evolução da Ciência da Computação nos últimos 50 anos, a partir da contribuição dos vencedores do “Turing Award”. Utilizando como referência as significativas contribuições desses grandes pesquisadores, serão apresentados os impactos científicos nas diversas áreas de conhecimento, a partir do trabalho desses premiados, ilustrando a significativa evolução e relevância da Ciência da Computação. Os trabalhos também serão contextualizados historicamente, ilustrando o seu impacto tecnológico. Finalmente, apresentaremos os impactos sociais, culturais e econômicos que a Ciência da Computação proporcionou ao ser humano no último século, a partir das notáveis contribuições desses cientistas.

Bio: Luís Lamb é PhD in Computer Science, Imperial College London (2000). Recebeu o Diploma of the Imperial College (2000); é Mestre (1995) e Bacharel (1992) em Ciência da Computação pela UFRGS. Realizou estágio pós-doutoral no Group of Logic, Language and Computation, King's College London (2005-2006). Concluiu o MIT Executive Program in Strategy and Innovation em 2010 e o MIT Executive Program in Management and Leadership em 2014, no Massachusetts Institute of Technology, Sloan School of Management. Atualmente é Pró-Reitor de Pesquisa da UFRGS. Foi Diretor e vice-diretor do Instituto de Informática da UFRGS, Honorary Visiting Fellow na City University London (UK), pesquisador e professor ou pesquisador convidado no Imperial College London, King's College London (Group of Logic, Language and Computation), City University London e na Univ. of British Columbia. Foi membro e coordenador do CA-CC/CNPq. É co-autor de dois livros científicos: “Neural-Symbolic Cognitive Reasoning” Springer (2009) e “Compiled Labelled Deductive Systems” sobre lógicas não-clássicas (IoP, 2004); publicou diversos artigos em periódicos como: Theoretical Computer Science, Neural Computation, Journal of Logic and Computation, Behavioral and Brain Sciences, ACM Transactions on Autonomous and Adaptive Systems, IEEE Transactions on Neural Networks, e nas principais conferências internacionais de suas áreas de pesquisa, como IJCAI, AAI, NIPS, ICSE, HCOMP. Tem experiência nas áreas de Ciência da Computação e Lógica, atuando principalmente em: Lógica em Computação e Inteligência Artificial; Computação Neural; Aprendizado NeuroSimbólico; Computação Social e Engenharia de Software.

Interação de Pessoas com Dados

Simone Diniz Junqueira Barbosa (Departamento de Informática - PUC-Rio)

Assim como as tecnologias de informação e comunicação se tornaram ubíquas, os dados vêm se tornando cada vez mais ubíquos. Os dados não são mais apenas fornecidos ativamente pelas próprias pessoas, mas capturados de sensores (pessoais e ambientais), muitas vezes sem sua autorização ou conhecimento. Muitos dados não estão mais restritos a bases de dados isoladas, mas disponibilizados em nuvem. Com essa crescente disponibilidade de dados “sobre nós”, nossa vida vem se tornando cada vez mais dirigida por dados (data driven). Nossos smartphones moldam nosso comportamento através de notificações. Empresas coletam dados para nos oferecerem melhores serviços (e de forma a aumentarem suas margens de lucro). Nesse contexto, torna-se premente investigar esses fenômenos e apoiar as pessoas a entenderem e interagirem com esses dados através dos sistemas e dispositivos aos quais elas têm acesso. Esta palestra apresentará desafios e oportunidades relacionados à interação de pessoas com dados, incluindo questões de personalização, privacidade, legibilidade dos dados, agência (na coleta ou manipulação de dados) e capacidade de negociação sobre controle e propriedade dos dados.

Bio: Simone Diniz Junqueira Barbosa é Professora Associada do Departamento de Informática da PUC-Rio, onde atua principalmente na área de Interação HumanoComputador e, mais recentemente, em Data Science. Pesquisadora nível 2 do CNPq, seus interesses de pesquisa atuais envolvem principalmente: projeto de IHC baseado em modelos; data science e visual analytics; e narrativas digitais interativas. Em 2010, publicou pela Campus/Elsevier o livro-texto ‘Interação Humano-Computador’, sob a chancela da Sociedade Brasileira de Computação. Coordenou diversos projetos de pesquisa, financiados pelo CNPq, FAPERJ, Microsoft Research e Hewlett-Packard. Vem participando de comitês de programa de diversas conferências nacionais e internacionais, e.g. CHI (ACM/SIGCHI), INTERACT (IFIP TC13), EICS (ACM/SIGCHI), IS-EUD, IHC (SBC). Foi a representante da SBC no comitê IFIP TC13 de 2008 a 2013, quando se tornou expert member e Vice-chair for Working Groups and Special Interest Groups. Entre 2013 e 2015 coordenou a Comissão Especial de IHC (CEIHC) da SBC. Integra os comitês editoriais dos periódicos *Interacting with Computers* (Oxford University Press), *Communications in Computer and Information Science* (CCIS – Springer), *SBC Journal of Interactive Systems*, *Journal of Software Engineering Research and Development* (Springer OpenAccess); e o advisory board da *IxD&A*. Em outubro de 2016, tornou-se co-Editor-in-Chief da revista *ACM Interactions*.

Segurança da Informação - ontem, hoje e desafios para amanhã

Ricardo Dahab (Instituto de Computação - UNICAMP)

Nesta palestra farei primeiramente um apanhado histórico de como aspectos da segurança da informação passaram de coadjuvantes a protagonistas no cotidiano dos cidadãos e dos provedores de serviços computacionais. Em seguida, discutirei os grandes desafios técnicos da área, também com foco no cidadão e nos provedores da infraestrutura digital, relacionando-os com grandes projetos globais que pretendem atacar esses desafios, em andamento ou gestação, chamadas de projetos internacionais em vista, etc. Finalmente, me deterei em projetos e iniciativas em andamento no Brasil e em como a comunidade brasileira tem-se mantido em sintonia com a comunidade internacional, e até mesmo liderando algumas iniciativas.

Bio: Ricardo Dahab é professor livre-docente do Instituto de Computação da Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP. Tem mestrado em Ciência da Computação pela UNICAMP e doutorado em Combinatória e Otimização pela Universidade de Waterloo, Canadá. Seus interesses em docência e pesquisa estão nas áreas de Algoritmos e Protocolos Criptográficos e Segurança da Informação. Suas contribuições mais importantes são algoritmos eficientes para criptografia de curvas elípticas, alguns dos quais se tornaram padrões da indústria. Também participou de vários projetos de sucesso em parceria com a indústria e governo, como o que criou o módulo de segurança em hardware (HSM) que equipa a autoridade certificadora raiz da Infraestrutura de Chaves Públicas Brasileira (ICP-Brasil). Junto com as comunidades de Criptografia e Segurança Computacional vem trabalhando ativamente na consolidação dessas áreas no Brasil e na América Latina, participando da Comissão Especial de Segurança da SBC, da organização de eventos como o SBSeg, a Escola Avançada de Criptografia (ASCrypt) e a Conferência Latincrypt. Trabalhou na criação da Maratona de Programação da SBC no Brasil, em 1996, hoje Regional Brasileira do ACM International Collegiate Programming Contests. É diretor dessas competições para a América Latina. É pesquisador do CNPq e foi agraciado com o prêmio Zeferino Vaz de Excelência Acadêmica da UNICAMP em 2011, e com o prêmio Inventores da UNICAMP em 2013 e 2017.

João e o Pé de Feijão: Uma Fábula sobre Startups e Big Data

Altigran Soares da Silva (Instituto de Computação - Universidade Federal do Amazonas)

Muitas das startups surgidas na onda de empreendedorismo digital que varre o país de norte a sul baseiam seu negócio em aplicativos para smartphones, que expõem seu negócio a um número virtualmente ilimitado de usuários. Se o sucesso que todos esperam vier realmente, junto com ele virá uma gigantesca montanha de dados de comportamento de usuários e, em pouco tempo, talvez o volume de dados seja tão grande que a capacidade de análise destes dados por meios convencionais se esgota facilmente. Eventualmente, os dados são simplesmente descartados por não se ter condições de tratá-los adequadamente. Isso representa uma perda de oportunidade, pois, de forma geral, muito conhecimento importante sobre o negócio pode ser derivado a partir destes dados. Nesta conversa, vou contar a história de João, um jovem empreendedor dedicado e talentoso, que criou um novo algoritmo que recebe como entrada um punhado de grãos de feijão e gera como saída um enorme pé de feijão. Com este algoritmo, ele conseguiu chegar ao fantástico Vale da Fatura, onde fica a cobiçada Galinha dos Ovos de Ouro das Startups. Veja como ele foi implacavelmente perseguido pelo terrível gigante "Big Data", que queria esmagá-lo com seus milhões de registros de log e seu comportamento selvagem e errático. Conseguirá nosso herói escapar? Conseguirá ele chegar na Galinha dos Ovos de Ouro?

Bio: Professor Associado do Instituto de Computação da UFAM onde atua como pesquisador, professor e orientador. Seus interesses de pesquisa envolvem Gerência de Dados, Recuperação de Informação e Mineração de Dados. Coordenou e participou de projetos de pesquisa que resultaram em mais de 100 publicações. Foi coordenador de comitês de programa de conferências no Brasil e no exterior, tendo participado também como membro de comitês em cerca de 40 conferências e workshops. Foi Pró-reitor de Pesquisa e Pós-Graduação da UFAM (2007/2009), Coordenador Adjunto da área de Computação na CAPES (2011/2013), e é atualmente membro do CA-CC do CNPq. Foi membro da diretoria da SBC (2005/2015) e é atualmente membro do conselho. É cofundador de empreendimentos de tecnologia, entre eles a Akwan, adquirida pela Google em 2005 e a Neemu, adquirida pela Linx Sistemas em 2015. Em 2013 venceu como orientador no Concurso de Teses e Dissertação da SBC e recebeu Menção Honrosa no Prêmio CAPES de Teses. Recebeu também em 2013 o prêmio de Sócio Destaque da SBC por sua atuação junto às Comissões Especiais. Em 2015 foi ganhador de um "Google Research Award in Latin America" como orientador.

Ciência de Dados

Artur Ziviani (LNCC), Fabio Porto (LNCC), Eduardo Ogasawara (CEFET-RJ)

Constituiu-se um desafio técnico-científico crescente o desenvolvimento de métodos para a extração generalizada e em escala de conhecimento relevante a partir de uma imensa massa de dados, potencialmente oriundos de múltiplas fontes heterogêneas. A abordagem a esse desafio, com aplicações em diversas áreas do conhecimento no eixo ciência-indústria-governo, emerge na literatura recente como a chamada Ciência de Dados. Essa incorpora elementos variados e se baseia em técnicas e teorias oriundas de muitos campos básicos em engenharia e ciências básicas, sendo assim intimamente relacionada com muitas das disciplinas tradicionais bem estabelecidas, porém viabilizando uma nova área altamente interdisciplinar. Nesta palestra, pretende-se divulgar a iniciativa de estabelecimento do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Ciência de Dados (INCT-CiD), cuja proposta foi recentemente reconhecida pelo CNPq. As atividades de modelagem e análise com base em ciência de dados do INCTCiD focam o desenvolvimento de novas metodologias baseadas em dados, suas aplicações em diversos domínios interdisciplinares, a formação de recursos humanos, a promoção de transferência de tecnologia e inovação, e o intercâmbio científico com parceiros nacionais e internacionais. Nesse contexto, a palestra apresentará também projetos interdisciplinares recentes e em andamento em ciência de dados, bem como discutirá os atuais desafios em ciência de dados ligados às linhas de pesquisa do INCTCiD: (i) gerência de grandes volumes de dados; (ii) análise de dados em larga-escala; (iii) análise de redes complexas; e (iv) aprendizado de máquina.

Bio: Artur Ziviani é Tecnologista Sênior do Laboratório Nacional de Computação Científica (LNCC). Graduou-se em Eng. Eletrônica pela UFRJ. Obteve o Mestrado em Eng. Elétrica (com ênfase em Teleinformática) pela COPPE/UFRJ e o Doutorado em Systèmes Informatiques pela Université Paris VI, Sorbonne Universités, França. Foi pesquisador visitante do INRIA, França, por 5 meses entre 2008 e 2009. É bolsista de produtividade em pesquisa PQ-1D do CNPq, membro do Editorial Board dos periódicos internacionais IEEE Communications Surveys & Tutorials e Computer Networks (Elsevier), e atual coordenador do Comitê Técnico de Monitoramento de Redes (CT-Mon) da RNP. Foi vice-coordenador do INCT em Medicina Assistida por Computação Científica (INCT-MACC) entre 2009 e 2016; e é o coordenador da proposta de INCT em Ciência de Dados (INCT-CiD), reconhecida recentemente pelo CNPq. Seus interesses atuais de pesquisa incluem caracterização, modelagem e análise de redes computacionais, bem como ciência de redes e suas aplicações em contextos interdisciplinares. É sócio da SBC, membro afiliado da Academia Brasileira de Ciências (ABC) e membro Sênior da ACM e IEEE.

Desafios e Oportunidades de Pesquisa em Consultas por Similaridade no Domínio de Dados Complexos

Agma J. Machado Traina (Universidade de São Paulo - USP, São Carlos, Brasil)

O volume de dados complexos (imagens, vídeo, áudio, series temporais) tem aumentado muito rapidamente, demandando que os sistemas de gerenciamento de bases de dados se adequem a esse novo cenário: acúmulo rápido e contínuo de dados diversos que demandam gerenciamento específico, considerando o conteúdo inerente dos dados. Tais dados passam a ser manipulados por meio de seu conteúdo inerente. Nesse contexto, as consultas e buscas passam a ser feitas por similaridade e não mais pelo próprio dado em si. Por exemplo: a execução de um modelo de previsão climática gera entre 1 e 3 Terabytes de dados. Ao se buscar situações que ocorram na realidade dentro de uma região, há interesse em encontrar situações já modeladas, dentro de um grau de semelhança, para que possam ser realizadas inferências e aproximações. O mesmo ocorre na área médica ao se buscar exames de um paciente que sejam similares a outros exames já analisados, que se encontram na base de imagens e vídeos disponibilizada pelo centro hospitalar. Tal conhecimento armazenado é uma fonte rica de informação para que decisões sobre os novos dados possam ser feitas, trazendo mais segurança e rapidez aos processos de análise de dados e tomada de decisão.

Bio: Agma Traina é Professora Titular junto ao Departamento de Ciências de Computação do Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação. Ela cursou Bacharelado em Ciências de Computação pela Universidade de São Paulo (1983), mestrado em Ciências de Computação pelo ICMSC da Universidade de São Paulo (1987), doutorado em Física Computacional pela Universidade de São Paulo (1991), e pós-doutorado em Computação pela Carnegie Mellon University (1998-2000). Atua em pesquisa e orientação de alunos na área de Ciência da Computação, com ênfase em Processamento Gráfico e Bases de Dados Complexos, principalmente nos seguintes temas: recuperação de imagens baseada em conteúdo e consultas por similaridade, imagens médicas, extração de características de imagens, visualização de informação e mineração de imagens e dados complexos. Nesses temas ela orientou mais de 40 alunos de pós-graduação. Ela é membro da Sociedade Brasileira de Computação, ACM, SIAM e IEEE Computer Society.

Justiça, transparência e responsabilidade em algoritmos de mineração de dados

Wagner Meira Jr. (Departamento de Ciência da Computação - Universidade Federal de Minas Gerais)

Algoritmos têm uma forte influência em nossas vidas, muitas vezes determinando o conteúdo que vamos consumir, lugares que vamos visitar e mesmo a definição sobre uma oferta de emprego. Por isso é importante, do ponto de vista ético e social, a compreensão de como os algoritmos podem ser tendenciosos ou mesmo discriminatórios contra alguns grupos, mesmo quando são matemática e computacionalmente corretos. Nesta palestra vamos conceituar e caracterizar algoritmos de mineração de dados em relação ao quanto são justos, transparentes e responsáveis, e apresentar estratégias que garantam essas características sem que isso signifique afetar outros requisitos como precisão, efetividade e manutenção de privacidade. Também vamos apresentar vários exemplos no contexto de web e redes sociais.

Bio: Wagner Meira Jr. é professor titular do Departamento de Ciência da Computação da Universidade Federal de Minas Gerais. Wagner é PhD em Ciência da Computação pela University of Rochester (1997), além de mestre e bacharel em Ciência da Computação pela Universidade Federal de Minas Gerais (1993 e 1990, respectivamente). Atualmente Wagner é pesquisador em produtividade do CNPq (nível 1B) e sub-coordenador do INCT-Cyber -INCT para uma Sociedade Massivamente Conectada. Também foi coordenador da linha de pesquisa em Descoberta do Conhecimento do INWeb Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia para a Web (2009- - 2017). Publicou mais de três centenas de artigos em periódicos e conferências de impacto e é co-autor do livro *Data Mining and Analysis Fundamental Concepts and Algorithms*, publicado pela Cambridge University Press em 2014. Seus interesses de pesquisa são em sistemas paralelos e distribuídos, em particular na sua escalabilidade e eficiência, variando de sistemas massivamente paralelos a plataformas baseadas na Internet, e em algoritmos de mineração de dados, sua paralelização e aplicação em áreas como recuperação de informação, bioinformática e governança eletrônica.

Trabalhos aceitos

Aplicação da Árvore Probabilística de Sufixo na Predição de Resultados do Processo de Extração de Café Solúvel

Everton da Silva, Elenir Lila Leobet de Lima, Fabrício Martins Lopes, André Yoshiaki Kashiwabara

Uma formulação para a máquina de aprendizagem mínima baseada em programação linear

Tamara Arruda Pereira, Amauri Holanda de Souza Júnior

A New Multi Objective Approach for Optimizing p-median Modeling in School Allocation using Genetic Algorithm

Clahildek Matos Xavier, Marly Guimarães Fernandes Costa, Cícero Ferreira Fernandes Costa Filho

A New Global-Local Approach to Optimize School Meals Delivery

Manoel S. L. Neto , Marly G. F. Costa, Cícero F. F. C. Filho

EstGeoMag: Integrando soluções de Hardware, Software e Internet das Coisas na medição de grandezas Geomagnéticas

Fábio Franco de Oliveira, Rodolfo da Silva Villaça, Celso Alberto Saibel Santos, Roberto Colistete Junior

Pré-processamento e Análise de Dados de Táxis

Cristiano Martins Monteiro, Fábio Rocha da Silva, Cristina Duarte Murta

Recognizing Falls and Surfaces Using Mobile Devices

Vicente J.P. Amorim, Carlos A. L. Mion, Igor M. Pereira, Ricardo C. Camara, Andrea G. C. Bianchi, Ricardo A. R. Oliveira

Videoaulas sobre computação por instrutores novatos: um estudo de caso com estúdio e com sala de aula na produção de vídeos interativos

Caio C. Viel, Kamila R. H. Rodrigues, Isabela Zaine, Cesar A.C. Teixeira, Maria da Graça C. Pimentel

Aplicação da Árvore Probabilística de Sufixo na Predição de Resultados do Processo de Extração de Café Solúvel

Everton da Silva¹, Elenir Lila Leobet de Lima², Fabrício Martins Lopes³, André Yoshiaki Kashiwabara³

¹Programa de Pós-Graduação em Informática – PPGI – Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Cornélio Procópio – PR – Brasil

²Supervisão de Produção – Cia Iguaçu de Café Solúvel – Cornélio Procópio – PR – Brasil

³Departamento Acadêmico de Computação – Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Cornélio Procópio – PR – Brasil.

{evertonvoid, lilaleobet}@gmail.com,
{fabricio, kashiwabara}@utfpr.edu.br

Abstract. *The extraction of instant coffee is an industrial process that generates in real time a large amount of data, such as yield, pH, temperature, concentration, percentage of soluble solids, among others. However, the data collected is still poorly explored to improve the instant coffee process. This work presents a methodology to summarize the results of the coffee extractor using probabilistic suffix trees, in which the observations from the past are used to estimate the probability of each class given a variable length context. These probabilities can indicate if the extractor is operating properly. Our methodology is under study at Cia Iguaçu de Café Solúvel and it would be extended to other applications in near future.*

Resumo. *A extração de café solúvel é um processo industrial que gera grande quantidade de dados em tempo real, como rendimento, pH, temperaturas, concentração, percentual de sólidos solúveis, dentre outros. No entanto, essa grande quantidade de dados é pouco aproveitada na melhoria do processo. Este trabalho apresenta uma metodologia capaz de sumarizar resultados do extrator de café por meio de árvores probabilísticas de sufixo, nas quais o histórico de observações dos resultados é utilizado na estimação de probabilidades de ocorrência de cada classe, indicando se o extrator está operando adequadamente. A metodologia está em estudo na Cia Iguaçu de Café Solúvel e poderá ser estendida para outras aplicações no futuro.*

1. Introdução

É comum que a melhoria no controle de processos industriais seja perseguida pelas empresas que buscam reduzir custos e, em contrapartida, manter a qualidade dos produtos oferecidos aos seus clientes, muitas vezes desconhecendo a metodologia ideal para esse fim [Santos 2014]. Diante da complexidade dos processos de fabricação e produção na indústria de alimentos e bebidas, que atualmente corresponde a 22% da indústria de transformação [CNI 2017], esse setor convive com o constante desafio na

busca por soluções inovadoras, exigindo mais esforços para análise e interpretação de seus dados. Esse cenário remete ao atual desafio da automação industrial em transformar tal volume de dados em informação [De Souza et. al. 2005]. Desse modo, há crescente motivação em identificar características nos processos de fabricação que levem às condições ideais e melhorem a qualidade sensorial na extração de café solúvel.

Neste trabalho, uma etapa do processo chamada de “Extração de Sólidos Solúveis”, foi analisada. Percebeu-se a necessidade do desenvolvimento de metodologia computacional para processar e analisar seus indicadores, a fim de que seja possível a extração de conhecimento para a tomada de decisões.

A metodologia desenvolvida visa o auxílio nas ações de operação dos equipamentos para ajustes nas condições que são críticas para a qualidade dos produtos. Neste sentido, este trabalho apresenta uma metodologia baseada em árvores probabilísticas de sufixo [Leonardi 2006, LARGERON 2003] e cadeias de Markov de alcance variável [Rissanen 1983], a qual, a partir de estatísticas geradas a cada novo registro, é capaz de estimar as probabilidades de ocorrência de cada classe de resultado de determinada variável, dada a observação do histórico passado.

Este trabalho está em desenvolvimento na Cia Iguazu de Café Solúvel, uma das três maiores empresas brasileiras exportadoras de café solúvel [Café Iguazu 2017].

2. Trabalhos Relacionados e Contextualização

Após revisão da literatura, e do melhor conhecimento dos autores, não foram encontrados artigos ou estudos que abordem a estimação de classes sequenciais voltadas à extração de sólidos solúveis de café. No entanto, existem trabalhos que tratam dos temas separadamente, como o trabalho de Ching, Fung and Ng [2002], que apresenta um modelo de cadeia de Markov multivariada para a modelagem de múltiplas sequências de dados categóricos, abordando processos de Markov de tempo discreto, com estados discretos finitos para a modelagem das sequências de dados. Afirma-se que, se for possível modelar sequências de dados categóricos com precisão, então é possível fazer boas previsões e planejamento ótimo nos processos de decisão.

Kashiwabara et. al. (2013) apresenta o ToPS, um *framework* computacional para análise probabilística de dados sequenciais, o qual implementa oito modelos probabilísticos, dentre eles a cadeia de Markov de alcance variável [Rissanen 1983] e o BIC [Schwarz 1978] como método para auxílio na definição dos melhores parâmetros, assim como na metodologia proposta neste trabalho. Diferenciando-se do ToPS, a metodologia proposta apresenta características próprias com relação ao seu sistema de leitura dos dados, conexão ao banco de dados, medida de similaridade entre os elementos e sistema de pesos de histórico, devido à sua aplicação específica na extração de café solúvel, que motivou o trabalho. No início dos estudos, a metodologia do ToPS chegou a ser aplicada em uma parte dos dados utilizados neste trabalho, a fim de se verificar a viabilidade da predição dos resultados com o uso de cadeias de Markov.

Em se tratando da extração de sólidos solúveis de café, o presente trabalho surgiu da constatação de subutilização do grande volume de dados existentes neste processo. Muitos dados, de diversos tipos de instrumentos de medição e de controle do chão de fábrica, são constantemente coletados, mas pouco é aproveitado na melhoria do

processo ou operação em benefícios ao produto, como por exemplo, rendimento, produtividade e qualidade sensorial. Através da automação industrial, esses dados são registrados por um sistema PIMS (*Process Information Management System*) [Alsmeyer 2006], o qual armazena esses dados em banco de dados por eventos, no caso de processos em bateladas, que são aqueles em que as funções de transferência ou processamento de material são cíclicas com resultados repetíveis [Ribeiro 2001]. Os dados são consultados pelo usuário via relatórios ou historiador gráfico.

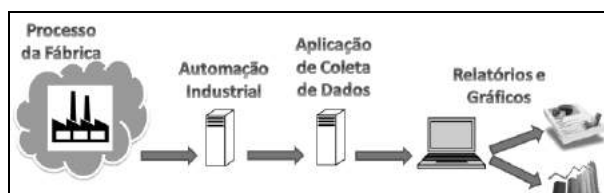


Figura 1. Visão geral do fluxo para coleta dos dados

Dentro do processo de produção do café solúvel, na etapa de extração, objeto de estudo deste trabalho, o café torrado é carregado em colunas extratoras que recebem a circulação de água em altas temperaturas a fim de se obter o extrato de café [Pitchon, Gottesman and Meier 1970]. Tal processo assemelha-se ao que é feito no coador de café doméstico, no qual os grãos torrados e moídos são percolados em água quente.

O processo de extração possui variáveis, ou condições críticas, que afetam as respostas finais do produto, como temperaturas, pressões, pH, concentração e rendimento. Para o setor de Produção, o resultado mais importante no processo de extração é a quantidade de sólidos solúveis produzidos, pois esse resultado determina o rendimento da matéria prima [Zeferino et. al. 2010]. O total de sólidos solúveis produzidos, dado em unidade de peso (kg), em relação à matéria prima consumida pode determinar também o rendimento e condições de operação do equipamento. O peso total de sólidos solúveis (SS) é resultado da multiplicação da concentração do extrato pelo peso total de extrato produzido ao final de cada ciclo.

O produto proveniente do processo de extração contém, em sua maior quantidade, os componentes químicos conhecidos como polissacarídeos, responsáveis pela concentração de sólidos solúveis no extrato de café. Por determinar o rendimento, a concentração de sólidos solúveis no extrato de café é uma das variáveis fortemente controladas e perseguidas no processo de extração de café solúvel [Clark 1985, Clifford 1985], sendo a variável mais indicada para um estudo mais aprofundado, visto que essa é uma variável direta, pura, que não depende de outras variáveis para se obter o seu valor.

3. Materiais e Métodos

3.1. Materiais

Os dados produzidos pelo processo de extração de café solúvel são o alvo deste trabalho. Mais especificamente, os resultados obtidos a cada batelada são adotados para a estimação das probabilidades pela metodologia proposta, a qual pode ser estendida a todos os processos e produtos do equipamento ou de outros equipamentos, nos quais o mesmo conceito se aplica. A obtenção dos dados é feita por conexão direta com o banco de dados do sistema de coleta existente na empresa, via query SQL [Patrick 2009].

Para o desenvolvimento desse trabalho, as informações utilizadas compreenderam o histórico de dados referente a um determinado produto e equipamento, totalizando 29972 registros.

3.2. Método Proposto

Este trabalho apresenta uma metodologia para sumarização de resultados, a qual é baseada no algoritmo Contexto [Leonardi 2006] para estimar uma árvore de sufixo probabilística, utilizada também para prever o resultado do próximo ciclo do processo. Em outras palavras, a metodologia proposta é capaz de realizar tanto a estimação da árvore quanto a predição da classe de resultados ao longo do processo de produção de forma online, isto é, à medida que os resultados do processo são gerados. A Figura 2 apresenta um fluxograma da metodologia proposta, indicando as suas etapas.

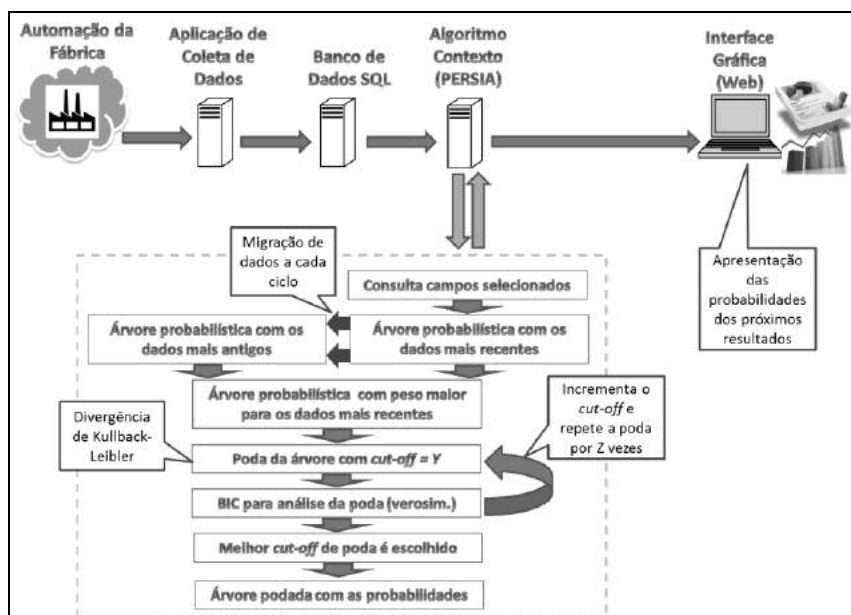


Figura 2. Fluxograma da metodologia proposta

A estrutura da metodologia proposta reconhece cinco rótulos de uma determinada variável, sendo eles: “B”, “b”, “N”, “a” e “A” para “MUITO BAIXO”, “BAIXO”, “NORMAL”, “ALTO” e “MUITO ALTO”, respectivamente. Isso significa que para o algoritmo será usado um alfabeto de cinco caracteres. A faixa considerada “NORMAL” é baseada em informações disponibilizadas pelo setor de Produção, através de técnicas próprias que definem quais são os limites ideais. Foi estipulada, com base na experiência da engenharia de processo da área de Produção, a porcentagem de cinco para acima e abaixo do valor normal para definir os rótulos “ALTO” e “BAIXO”. O que passar de cinco por cento considera-se como “MUITO ALTO” ou “MUITO BAIXO”. Os rótulos “ALTO” e “BAIXO” são valores que, apesar de estarem fora dos limites considerados normais, são toleráveis. Acima ou abaixo disso são valores realmente muito discrepantes ou *outliers* [Muñoz-Garcia, Moreno-Rebollo and Pascual-Acosta 1990] que se desviam demais do comportamento esperado.

A Tabela 1 apresenta a definição dos rótulos, onde: “x” é o limite de tolerância máximo, “n1” e “n2” são os limites considerados normais e “y” é o limite de tolerância mínimo.

Tabela 1. Faixas de rótulos

Descrição	Rótulo	Limites de Concentração (%)
MUITO ALTO	A	$> x$
ALTO	a	$> n \ \& \ \leq x \ (5\%)$
NORMAL	N	$\geq n1 \ \& \ \leq n2$
BAIXO	b	$< n2 \ (5\%) \ \& \ \geq y$
MUITO BAIXO	B	$< y$

A profundidade inicial parametrizada define também o tamanho do alcance do histórico de resultados a ser observado. Por exemplo: em um histórico com a sequência de resultados “BBNANBNBAN”, considerando que a representação do histórico mais recente está à direita, em uma árvore de profundidade quatro, na qual o alcance do histórico também seria 4, a probabilidade de o próximo resultado ser “B” seria estimado observando apenas a sequência “NBAN”. Quando um novo resultado chega ao histórico, um “B”, por exemplo, a sequência é atualizada, se tornando “BANB”.

Também existe a possibilidade de parametrizar o algoritmo para aplicação com apenas três rótulos, sendo eles o “MUITO BAIXO”, “NORMAL” e “MUITO ALTO”, não havendo, portanto, os rótulos para valores intermediários.

3.2.1. Estrutura da Árvore de Sufixo

A implementação da metodologia proposta foi feita de forma recursiva para construção da estrutura da árvore, onde são criadas todas as combinações possíveis de sequências, sendo que cada elemento possui contadores de ocorrências (*score*) e as probabilidades atuais. Cada elemento armazena a sequência de caracteres a que o elemento pertence.

A Figura 3 apresenta um exemplo simplificado da estrutura da árvore de sufixo, construída em dois níveis (N1 e N2), com uma palavra de três caracteres (“B”, “N”, “A”). Na raiz (N0) estão os contadores globais de ocorrências de cada caractere, ou seja, toda vez que um resultado novo chega ao histórico o respectivo contador é incrementado, independente do histórico.

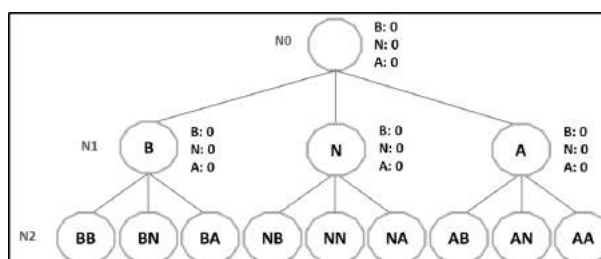


Figura 3. Representação simplificada da criação da árvore de sufixo

Em um exemplo baseado na árvore apresentada da Figura 3, com o histórico começando vazio, a sequência atual seria SEQ= “”. Supondo que o primeiro resultado registrado fosse “N”, seria incrementado o contador desse caractere na raiz da árvore (N0), já que ainda não existe nenhum histórico a ser observado. “N” é acrescentado à sequência de histórico, ficando agora SEQ= “N”. Considerando o próximo resultado

como “B”, é incrementado agora o contador de “B” na raiz (N0) e também no nível um (N1) no nó “N”, dado que o histórico anterior foi “N”. Para um próximo resultado “A”, com a sequência atualizada SEQ=”NB”, o caractere “A” é contabilizado então em N0, N1 (nó B) e N2 (nó BN). A Figura 4 exibe como estaria o preenchimento dos contadores da árvore neste ponto.

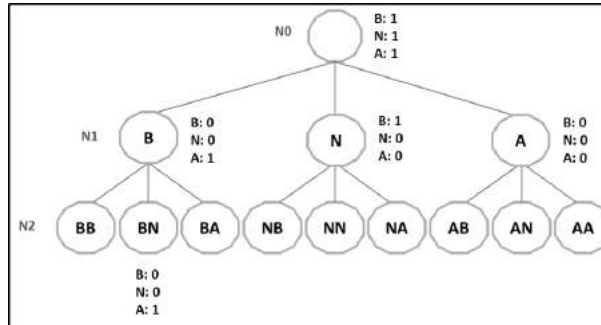


Figura 4. Exemplo de preenchimento da árvore de sufixo baseado no histórico de resultados

Sendo BN um nó folha da árvore, ou seja, um elemento que não possui nós filho, os seus contadores são utilizados para cálculo das probabilidades do próximo resultado. A Figura 5 apresenta um exemplo mais completo deste nó, após diversas iterações do algoritmo, onde 205 ocorrências foram registradas no nó “BN”, distribuídas entre os contadores de cada caractere da palavra do algoritmo. Ao lado direito dos contadores estão as probabilidades para o próximo resultado, dado que o histórico anterior foi “BN”, sendo “B” o resultado com maior probabilidade.

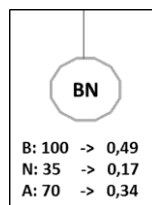


Figura 5. Exemplo de probabilidades calculadas a partir de um nó folha

A Figura 6 apresenta uma amostra de impressão da árvore de sufixo, na qual se observa a representação dos níveis da árvore por meio da identificação no início de cada linha, onde são apresentados os contadores e probabilidades de ocorrência de cada caractere. Os nós folha são indicados pelo “<F>” no final da linha.

```

N0: -> [ B:1974(0,02) b:3599(0,12) N:12563(0,57) a:8646(0,22) A:3200(0,07) ]
N1: B -> [ B:1164(0,25) b:485(0,18) N:247(0,29) a:61(0,14) A:25(0,14) ]
N2: BB -> [ B:812(0,30) b:229(0,20) N:93(0,18) a:23(0,16) A:15(0,16) ]
N3: BBB -> [ B:595(0,31) b:140(0,19) N:57(0,17) a:15(0,16) A:13(0,16) ]
N4: BBBB -> [ B:459(0,31) b:90(0,19) N:37(0,17) a:6(0,16) A:11(0,16) ] <F>
N4: BBBb -> [ B:70(0,28) b:31(0,21) N:12(0,18) a:7(0,17) A:2(0,16) ] <F>
N4: BBBN -> [ B:38(0,28) b:13(0,20) N:5(0,17) a:6(0,18) A:4(0,17) ] <F>
N4: BBBa -> [ B:23(0,28) b:9(0,20) N:7(0,19) a:2(0,17) A:2(0,17) ] <F>
N4: BBBBA -> [ B:13(0,27) b:5(0,20) N:4(0,19) a:2(0,17) A:2(0,17) ] <F>
N3: BBb -> [ B:114(0,28) b:48(0,21) N:19(0,18) a:5(0,16) A:3(0,16) ]
N4: BBbB -> [ B:43(0,30) b:12(0,20) N:3(0,17) a:3(0,17) A:2(0,16) ] <F>
N4: BBbb -> [ B:37(0,29) b:11(0,20) N:7(0,18) a:3(0,17) A:2(0,16) ] <F>
N4: BBbN -> [ B:25(0,25) b:17(0,22) N:9(0,19) a:3(0,17) A:3(0,17) ] <F>
N4: BBba -> [ B:8(0,23) b:9(0,24) N:5(0,20) a:2(0,17) A:2(0,17) ] <F>
N4: BBbA -> [ B:9(0,25) b:7(0,23) N:3(0,18) a:2(0,17) A:2(0,17) ] <F>
N3: BBN -> [ B:58(0,27) b:27(0,21) N:10(0,18) a:7(0,17) A:3(0,16) ]
N4: BBNB -> [ B:8(0,26) b:3(0,19) N:3(0,19) a:2(0,17) A:3(0,19) ] <F>

```

Figura 6. Amostra da impressão da árvore de sufixo

3.2.2. Processo de Poda da Árvore de Sufixo

A partir da estrutura da árvore de sufixo foi desenvolvido o sistema de poda da árvore, no qual, basicamente, elementos muito semelhantes ao elemento pai devem ser descartados. A medida de similaridade implementada foi a Divergência de Kullback-Leibler [Duda, Hart and Stork 2000a]. A partir das probabilidades do elemento pai e de seus filhos, essa técnica retorna um valor que informa o quão semelhantes ou quão próximos os filhos estão dos pais. A partir de um parâmetro de *cut-off* é feita a decisão pela poda ou não desses elementos filho. Também são removidos nós com baixo número de ocorrências.

Exemplo 1:																
PAI		F1			F2			F3			F4			F5		
Q	P(%)	Q	P(%)	ln(x)	Q	P(%)	ln(x)	Q	P(%)	ln(x)	Q	P(%)	ln(x)	Q	P(%)	ln(x)
20	20,0	1	20,0	0,0	1	20,0	0,0	1	20,0	0,0	1	20,0	0,0	1	20,0	0,0
20	20,0	1	20,0	0,0	1	20,0	0,0	1	20,0	0,0	1	20,0	0,0	1	20,0	0,0
20	20,0	1	20,0	0,0	1	20,0	0,0	1	20,0	0,0	1	20,0	0,0	1	20,0	0,0
20	20,0	1	20,0	0,0	1	20,0	0,0	1	20,0	0,0	1	20,0	0,0	1	20,0	0,0
20	20,0	1	20,0	0,0	1	20,0	0,0	1	20,0	0,0	1	20,0	0,0	1	20,0	0,0
20	20,0	1	20,0	0,0	1	20,0	0,0	1	20,0	0,0	1	20,0	0,0	1	20,0	0,0
KL: 0,0		KL: 0,0			KL: 0,0			KL: 0,0			KL: 0,0			KL: 0,0		
Exemplo 2:																
PAI		F1			F2			F3			F4			F5		
Q	P(%)	Q	P(%)	ln(x)	Q	P(%)	ln(x)	Q	P(%)	ln(x)	Q	P(%)	ln(x)	Q	P(%)	ln(x)
280	75,1	219	77,1	-2,0	14	56,0	22,0	25	58,1	19,2	17	63,0	13,2	9	64,3	11,6
25	6,7	16	5,6	1,2	3	12,0	-3,9	5	11,6	-3,7	3	11,1	-3,4	2	14,3	-5,1
34	9,1	25	8,8	0,3	4	16,0	-5,1	5	11,6	-2,2	3	11,1	-1,8	1	7,1	2,2
22	5,9	13	4,6	1,5	3	12,0	-4,2	6	14,0	-5,1	3	11,1	-3,7	1	7,1	-1,1
12	3,2	11	3,9	-0,6	1	4,0	-0,7	2	4,7	-1,2	1	3,7	-0,5	1	7,1	-2,6
KL: 0,4		KL: 8,1			KL: 7,0			KL: 3,8			KL: 5,1					
Exemplo 3:																
PAI		F1			F2			F3			F4			F5		
Q	P(%)	Q	P(%)	ln(x)	Q	P(%)	ln(x)	Q	P(%)	ln(x)	Q	P(%)	ln(x)	Q	P(%)	ln(x)
21	48,8	10	31,3	21,8	9	69,2	-17,0	1	20,0	43,6	3	42,9	6,4	2	33,3	18,7
7	16,3	7	21,9	-4,8	1	7,7	12,2	1	20,0	-3,4	1	14,3	2,1	1	16,7	-0,4
11	25,6	11	34,4	-7,6	1	7,7	30,7	1	20,0	6,3	1	14,3	14,9	1	16,7	11,0
3	7,0	3	9,4	-2,1	1	7,7	-0,7	1	20,0	-7,3	1	14,3	-5,0	1	16,7	-6,1
1	2,3	1	3,1	-0,7	1	7,7	-2,8	1	20,0	-5,0	1	14,3	-4,2	1	16,7	-4,6
KL: 6,7		KL: 22,4			KL: 34,2			KL: 14,2			KL: 18,6					

Quadro 1. Exemplo de aplicação da Divergência de Kullback-Leibler

O Quadro 1 apresenta uma demonstração da verificação de semelhança entre elementos pai e elementos filho aplicando Divergência de Kullback-Leibler. Foram montados três exemplos através de amostras reais dos dados coletados, onde:

- “Q” indica quantas ocorrências obteve cada caractere do alfabeto, num total de cinco caracteres, seguindo a ordem: “b”, “B”, “N”, “a” e “A”;
- “P(%)” indica a probabilidade de cada caractere, em porcentagem;
- “ln(x)” apresenta o cálculo parcial, dado pela equação:

$$D_{KL(\text{parcial})} = PAI(i) \log \frac{FILHO(i)}{PAI(i)}$$

- “KL” é o resultado final da divergência, sendo a somatória dos “ln(x)” calculados para cada caractere. Esse valor indica o quanto esse elemento filho é divergente do pai, sendo que, quanto maior o valor, maior é a divergência.

No Exemplo 1 todos os filhos tem os mesmos valores do pai, por isso os resultados são 0. Nesse caso, o algoritmo poda todos os elementos, pois apenas os valores do pai são suficientes, visto que possuem as mesmas informações. No Exemplo 2 o filho mais divergente é o F2, dado que obteve o maior valor no cálculo de divergência. A diferença pode ser notada através da comparação das suas probabilidades com as do

pai. Já o F1 possui baixa divergência, portanto pode ser podado, dependendo do valor informado no parâmetro de *cut-off*. No Exemplo 3 o elemento mais divergente é o F3. Apesar de possuir valores muito baixos ele é muito divergente do elemento pai, portanto é preservado. Assim, elementos com baixas probabilidades só serão podados quando o elemento pai também possuir essa característica.

O processo de poda só ocorre a partir de elementos pai nos quais todos os filhos são folhas. Ou seja, se um dos filhos não for folha, todos os filhos devem ser preservados. A seguir é apresentado um exemplo do processo de poda, com uma árvore de 3 níveis, onde os elementos são representados por números para facilitar a didática.

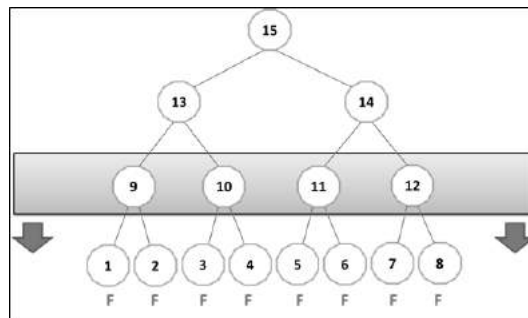


Figura 7. Verificação inicial no exemplo de poda da árvore de sufixo

A Figura 7 apresenta a verificação do nível 2. Caso satisfaçam os critérios de poda, todos os elementos pai podem ter os filhos removidos, pois todos são folhas.

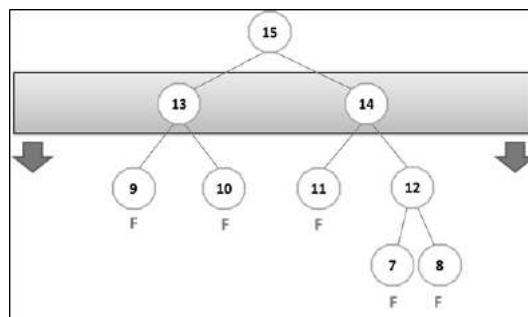


Figura 8. Primeira poda no exemplo de poda da árvore de sufixo

Como exemplo, assumimos que todos os elementos pai, com exceção do elemento 12, tiveram os filhos podados, devido ao critério de divergência. Na verificação do nível 1 (Figura 8), apenas o elemento 13 pode ter os filhos podados, pois todos são folhas. Já o 14 não pode, mesmo que atender aos critérios de poda.

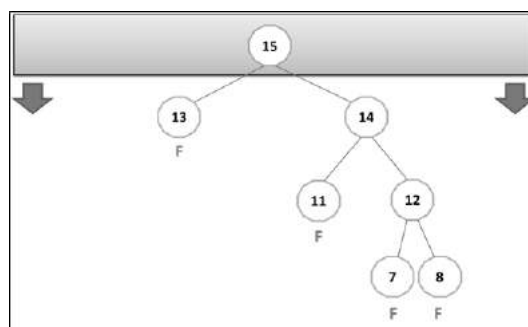


Figura 9. Poda final no exemplo de poda da árvore de sufixo

Assumindo que algum dos critérios de poda foi satisfeito, os filhos do elemento 13 acabam sendo podados (Figura 9). Na verificação do nível 0 nenhuma poda ocorrerá, pois o elemento 14 não é folha.

Na fase de desenvolvimento do sistema, o parâmetro de *cut-off* foi testado inicialmente com valores fixos, sendo necessário informar manualmente diferentes valores para testes. Posteriormente, o algoritmo passou a utilizar o BIC (Bayesian Information Criterion) [Schwarz 1978], técnica que retorna o melhor valor de *cut-off* para poda, independente da técnica utilizada como critério para poda dos elementos, tendendo a deixar os resultados mais precisos.

3.2.3. Pesos do Histórico de Probabilidades

Na indústria, os ajustes de processos para a melhoria contínua são realizados com frequência. Assim, verificou-se a necessidade de que dados antigos, resultantes da coleta realizada no decorrer dos anos, tenham pesos diferentes em relação aos atuais. Dessa maneira, acredita-se que os dados atuais tenham respostas melhores no processo que os dados de tempos atrás. Para resolver essa questão foram implementadas três árvores probabilísticas, onde a primeira contém o histórico mais recente dos registros, com alcance parametrizado. A segunda árvore contém todo o histórico restante, mais antigo. Já a terceira árvore é uma união das duas anteriores, porém com pesos diferentes para as suas probabilidades, como peso 90 para o histórico atual e 10 para o restante, por exemplo. A implementação do sistema de pesos para o histórico de probabilidades se mostra importante para que o algoritmo se adapte a qualquer tipo de variação no processo ao longo do tempo, visto que os dados mais atuais sempre serão reforçados em prioridade, mas ainda assim aproveitando os antigos como referência de aprendizado.

4. Resultados e Discussão

A saída da metodologia proposta grava os resultados das probabilidades em arquivos CSV, permitindo o desenvolvimento de interfaces independentes para a visualização das probabilidades pelo operador do equipamento, atualizadas a cada novo ciclo.

A Figura 10 apresenta um exemplo de exibição das probabilidades em uma interface gráfica, onde “B”, “b”, “N”, “a” e “A” são abreviações para “MUITO BAIXO”, “BAIXO”, “NORMAL”, “ALTO” e “MUITO ALTO”, respectivamente) e suas respectivas probabilidades de que ocorram no próximo ciclo. Nesse exemplo observa-se que há maior probabilidade (0,36) de que o próximo resultado da variável analisada esteja na faixa considerada “NORMAL”, seguido de uma probabilidade de 0,18 de que seja “BAIXO”. Dessa maneira, os resultados poderão ser visualizados pelo operador e transformados em ações para corrigir ou manter o processo sob controle.

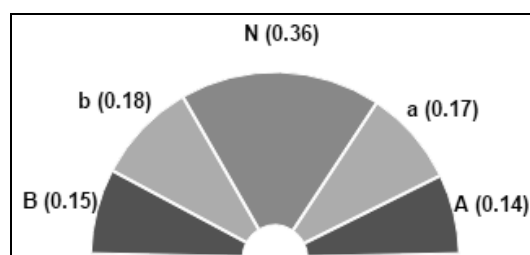


Figura 10. Exemplo de apresentação gráfica das probabilidades do próximo resultado

Dada a dificuldade em se apresentar uma sequência completa de probabilidades em uma árvore de sufixo, devido à grande quantidade de combinações, é apresentada a seguir uma sequência com uma amostra de 520 registros e apenas três rótulos: “B”, “N” e “A”, com uma árvore de sufixo de ordem um. Inicialmente são dadas as probabilidades globais de cada classe e depois as probabilidades de transições entre elas, com todas as combinações possíveis. Cada linha de saída é formada por “ESTADO” | “HISTÓRICO”. Por exemplo, “N | A: 0,34” indica 34% de chances de que de o próximo resultado de concentração seja “NORMAL”, dado que o resultado anterior foi “ALTO”.

Tabela 2. Exemplo simplificado de probabilidades estimadas

Sequências	Probabilid.	Descrição das Probabilidades do Próximo Resultado
A	0,41	Prob. de concentração alta (global)
B	0,15	Prob. de concentração baixa (global)
N	0,44	Prob. de concentração normal (global)
A | A	0,63	Prob. de concentração alta dado que a anterior foi alta
B | A	0,03	Prob. de concentração baixa dado que a anterior foi alta
N | A	0,34	Prob. de concentração normal dado que a anterior foi alta
A | B	0,07	Prob. de concentração alta dado que a anterior foi baixa
B | B	0,55	Prob. de concentração baixa dado que a anterior foi baixa
N | B	0,38	Prob. de concentração normal dado que a anterior foi baixa
A | N	0,33	Prob. de concentração alta dado que a anterior foi normal
B | N	0,13	Prob. de concentração baixa dado que a anterior foi normal
N | N	0,54	Prob. de concentração normal dado que a anterior foi normal

Se, por exemplo, a concentração atual é alta, podemos estimar uma situação em que raramente a concentração será baixa no próximo ciclo, devido à baixa probabilidade estimada (0,03). Em outro exemplo, se a concentração for baixa então há alta probabilidade (0,55) de que a concentração volte a ser baixa no próximo ciclo, o que pode significar, por exemplo, que as colunas estejam trabalhando de forma subótima. Os eventos de baixa probabilidade são eventos raros. Tais eventos são interessantes para a interpretação dos resultados, principalmente no que diz respeito às razões pelas quais ocorreram. Por exemplo, as transições de “ALTO” para “BAIXO” e de “BAIXO” para “ALTO” podem ser erros na medição ou só ocorrem quando há algum problema na máquina ou ainda quando há uma intervenção do operador.

Ao longo dos ciclos, a máquina perde ou ganha gradativamente sua rentabilidade. No funcionamento considerado normal, a mudança de rentabilidade da máquina não pode ser brusca. Se, por exemplo, entrarem grãos de café de baixa qualidade no sistema, esses grãos irão afetar o processo até que eles sejam descartados. Assim, se a quantidade de grãos de baixa qualidade estiver na maioria das colunas é provável que ocorra baixa rentabilidade durante alguns ciclos. Por outro lado, ao entrar grãos de alta qualidade, esses grãos irão afetar positivamente na rentabilidade, até que eles sejam descartados.

5. Conclusões e Trabalhos Futuros

Com o objetivo de extrair conhecimento operacional dos dados existentes do processo de “Extração de Sólidos Solúveis”, este trabalho apresentou uma metodologia de sumarização de resultados pela implementação de árvores probabilísticas de sufixo [Leonardi 2006, Largeron 2003], utilizando o histórico de observações dos resultados na estimação de probabilidades de ocorrência de cada classe destes. A previsão dos resultados, tal como, a concentração, faz com que o rendimento e a produtividade da linha sejam resultados estimados indiretamente. Na extração de café solúvel, podemos verificar que a estimação dos resultados trará benefícios para o conhecimento e desenvolvimento de processo.

A implementação da metodologia em um algoritmo demonstrou sua importância para análise de problemas, observação das características do equipamento, melhorias nas ações do operador, entre outras. Trata-se de um recurso adicional na busca da melhoria contínua de processos e produtos, uma ferramenta de apoio para a tomada de ações no processo de produção, obtendo-se mais estabilidade e repetibilidade nas respostas.

Atualmente, todos os parâmetros do algoritmo precisam ser alterados e testados manualmente. Utilizando técnicas de otimização, seria possível estimar melhores valores para os parâmetros [Duda, Hart and Stork 2000b], conseguindo assim mais eficiência nos resultados de estimação e também no desempenho de execução do algoritmo. Dentre as diversas técnicas existentes para otimização ou estimação de parâmetros podemos citar a implementação de algoritmos evolucionários [Linden 2012], como os Algoritmos Genéticos e as Redes Neurais.

Por se tratar de uma metodologia baseada em histórico de resultados, certamente poderá ser aplicada em outras etapas do processo, principalmente aquelas baseadas em bateladas [Ribeiro 2001], como a torrefação, onde hoje já existe uma coleta de dados de saída, como umidade, cor, rendimento e tempo de torra. Mesmo em outras etapas seria possível a aplicação do sistema de predição, bastando identificar as variáveis de saída mais importantes e estabelecer as suas combinações no histórico de resultados.

6. Agradecimentos

Agradecemos à Café Iguazu por proporcionar as condições para realização deste trabalho com sua moderna infraestrutura.

Referências

- Alsmeyer, F. (2006) “Automatic Adjustment of Data Compression in Process Information Management Systems”, *Computer Aided Chemical Engineering*, v.21, p.1533-1538, Aachen, Germany.
- Café Iguazu (2017) “História”, <http://www.iguacu.com.br/empresa/sobre-nos/>, Março.
- Ching, W., Fung, E. S. and Ng, M. K. (2002) “A Multivariate Markov Chain Model for Categorical Data Sequences and Its Applications in Demand Predictions”, In: *IMA Journal of Management Mathematics*, p.187-199, Hong Kong.
- Clarke, R. J. (1985) “Water and Mineral Contents”. In: Clarke, R. J., Macrae, R. “Coffee: Chemistry”, Elsevier Applied Science Publishers, v.1, p.42-82, London.

- Clifford, M. N. (1985) “Chemical and Physical Aspects of Green Coffee and Coffee Products”. In: *Coffee: Botany, Biochemistry and Production of Beans and Beverage*, p.305-374, London: M. Chapman and Hall.
- CNI, Confederação Nacional da Indústria (2017) “Alimentos e Bebidas”, <http://www.portaldaindustria.com.br/agenciacni/noticias/2014/09/alimentos-e-bebidas-1/>, Fevereiro.
- De Souza, A. J., Bezerra, C. G., De Andrade, W. L. S., Feijo, R. H.; Leitao, G. B. P., Guedes, L. A., Maitelli, A. L., De Medeiros, A. A. D. (2005) “Gerência de Informação da Produção de Petróleo e Gás”, In: 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás. Salvador, Bahia.
- Duda, R. O., Hart, P. E. and Stork, D. G. (2000a) “Pattern Classification”, Second Edition, In: Wiley-Interscience, c.3, p.57.
- Duda, R. O., Hart, P. E. and Stork, D. G. (2000b) “Pattern Classification”, Second Edition, In: Wiley-Interscience, c.3, p.3.
- Kashiwabara, A. Y., Bonadio, Í., Onuchic, V., Amado, F., Mathias, R., Durham, A. M. (2013) “Tops: A Framework to Manipulate Probabilistic Models of Sequence Data”, In: *PLOS: Computational Biology*.
- Largerón, C. (2003) “Prediction Suffix Trees for Supervised Classification of Sequences”, In: *Journal Pattern Recognition Letters*, v.24, p.3153-3164.
- Leonardi, F. G. (2006) “A Generalization of the PST Algorithm: Modeling the Sparse Nature of Protein Sequences”, In: *Bioinformatics*, v.22, n.11, p.1302-1307.
- Linden, R. (2012) “Algoritmos Genéticos”, 3ª Edição, Editora Ciência Moderna, Rio de Janeiro, p.43.
- Patrick, J. J. (2009) “SQL Fundamentals”, Third Edition, Pearson Education, USA, p.3.
- Pitchon, E., Gottesman, M. and Meier, R. W. (1970) “Process for Manufacture of Coffee Extract”, United States Patent, General Foods Corporation, New York.
- Muñoz-García, J., L. Moreno-Rebollo, J., Pascual-Acosta, A. (1990) “Outliers: A Formal Approach”, In: *International Statistical Review*, v.58, n.3, p.215-226.
- Ribeiro, M. A. (2001) “Automação Industrial”, 4 ed, Salvador: Tek Treinamento & Consultoria Ltda.
- Rissanen, J. (1983) “A Universal Data Compression System”, In: *IEEE Transactions on Information Theory*, v.29, n.5, p.656-664.
- Santos, A. F. S. (2014) “Métodos Facilitadores de Melhoria do Processo e Aumento de Produtividade”, Instituto de Educação Tecnológica - IETEC.
- Schwarz, G. (1978) “Estimating the Dimension of a Model”, In: *The Annals of Statistics*, v.6, n.2, p.461-464.
- Zeferino, L. B., Saraiva, S. H., Silva, L. C, Teixeira, L. J. Q., Lucia S. M. D. (2010) “Efeito da Concentração de Sólidos Solúveis do Extrato de Café Conilon no Índice de Refração, na Densidade e na Viscosidade do Extrato”, In: *Enciclopédia Biosfera*, Centro Científico Conhecer, v.6, n.11, p.1, Goiânia.

Uma formulação para a máquina de aprendizagem mínima baseada em programação linear

Tamara Arruda Pereira¹, Amauri Holanda de Souza Júnior¹

¹Departamento de Ciência da Computação
Instituto Federal do Ceará (IFCE)
Maracanaú – Ceará – Brasil

tamaraarrudap@gmail.com, amauriholanda@ifce.edu.br

Abstract. *Minimal Learning Machine (MLM) is a supervised learning method whose basic principle is based on a linear mapping between distances in the input and output spaces, followed by an optimization process to, based on estimated distances, provide an estimate for the output in a typical regression case. The MLM test step involves solving a non-convex optimization problem and it may suffer from local minima problems. In this paper, we present a formulation for the out-of-sample step using linear programming. The experiments show that the proposed method achieves similar performance to that obtained with the original algorithm, additionally producing results with small variance.*

Resumo. *A máquina de aprendizagem mínima (MLM) é um método de aprendizado supervisionado que consiste na utilização de um mapeamento linear entre distâncias dos espaços de entrada e saída, seguido de um processo de otimização para, a partir das distâncias estimadas, estimar a saída. A etapa de teste da MLM envolve a resolução de um problema de otimização não-convexo, e pode sofrer com problemas associados a mínimos locais. Com isso em vista, neste artigo é apresentada uma formulação nessa etapa utilizando programação linear. Os experimentos mostram que o método proposto atinge desempenho semelhante àquele obtido com o algoritmo original, adicionalmente produzindo resultados com menor variância.*

1. Introdução

Na sua essência, aprendizagem de máquina (*machine learning*) é uma subárea da inteligência artificial que compreende técnicas estatísticas ou bioinspiradas na construção de modelos matemáticos capazes de lidar com incertezas a partir de dados [Hastie et al. 2001, Bishop et al. 2006]. Dentre aplicações clássicas, cita-se reconhecimento de voz [Sainath et al. 2015] e imagens [Krizhevsky et al. 2012], jogos [Silver et al. 2016] e robótica [Lenz et al. 2015].

Dentre os principais paradigmas utilizados em aprendizagem de máquina estão métodos supervisionados e métodos não-supervisionados. Na abordagem supervisionada, há variáveis de entrada e saída, o objetivo é encontrar o mapeamento, em geral não-linear, que relaciona essas variáveis. No paradigma não-supervisionado, um dos principais objetivos é encontrar representações úteis a partir somente dos

dados disponíveis pelas variáveis de entrada. Tarefas típicas em aprendizagem não-supervisionada são *manifold learning*, análise de agrupamentos, e aprendizagem de representação (*representation learning*) [Hinton and Salakhutdinov 2006]. Por outro lado, regressão e classificação são exemplos de tarefas de aprendizagem supervisionada. Em regressão, as variáveis de saída são dadas por números reais (contínuas) ao passo que em problemas de classificação as saídas são dadas por categorias ou classes (conjunto discreto finito).

Recentemente, um novo método chamado máquina de aprendizagem mínima (*Minimal Learning Machine*, MLM) [Souza Júnior et al. 2015] tem ganhado atenção. Máquina de aprendizagem mínima é um método supervisionado baseado em mapeamentos entre distâncias computadas no espaço de entrada e saída. Ele pode ser dividido em duas etapas: mapeamento entre distâncias (treinamento) e estimação da saída (teste). Na primeira etapa, utiliza-se um modelo linear multiresposta entre distâncias computadas para pontos fixos chamados pontos de referência entre variáveis de entrada e saída. O modelo linear é estimado através do método dos mínimos quadrados e essa etapa consiste no treinamento do modelo. A etapa de teste consiste em encontrar estimativas para a variável de saída associada a pontos ainda não utilizados na etapa de treinamento do modelo. Para isso, a MLM originalmente emprega um método de otimização que a partir da estimativas de distâncias no espaço de saída encontra a verdadeira localização dos pontos (variáveis), em um procedimento conhecido como *multilateration*. Dentre as vantagens da MLM estão a necessidade de ajustar um único hiperparâmetro (número de pontos de referência); a facilidade de implementação; e o baixo custo computacional para treinamento do modelo. No entanto, a etapa de teste possui um alto custo computacional visto que um problema de otimização não-convexo deve ser resolvido.

Este trabalho propõe a utilização de um novo método para solucionar o problema de otimização que faz parte da etapa de teste da MLM. Mais especificamente, o problema de otimização, originalmente não-convexo, conhecido como *multilateration*, é transformado em um problema de programação linear com solução única e global. Experimentos são realizados para mostrar o potencial da técnica proposta em problemas de regressão clássicos na área de aprendizado de máquina.

O restante do artigo está organizado da seguinte forma: na seção 2 são descritos os fundamentos da MLM conforme a proposta original; a seção 3 apresenta o método proposto neste trabalho: máquina de aprendizagem mínima com programação linear; a seção 4 apresenta e discute os resultados alcançados; e as conclusões são dadas na seção 5.

2. Máquina de Aprendizagem Mínima

Defina o problema de aprendizagem de máquina como o problema de aproximar uma função alvo suave contínua $f : \mathcal{X} \rightarrow \mathcal{Y}$ a partir de dados $\mathcal{D} = \{(x_n, y_n = f(x_n))\}_{n=1}^N$, onde $x_n \in \mathcal{X}$ e $y_n \in \mathcal{Y}$. Assumindo \mathcal{X} e \mathcal{Y} como sendo o espaço de entrada e saída, respectivamente.

A MLM tem como objetivo aproximar a função alvo f através do uso de funções auxiliares $\delta_k : \mathcal{Y} \rightarrow \mathbb{R}_+$ e $\phi_k : \mathcal{X} \rightarrow \mathbb{R}_+$ no espaço de saída e entrada, respectivamente. As funções auxiliares são distâncias computadas a partir de pontos

fixos $\{(m_k, t_k = f(m_k)) \in \mathcal{X} \times \mathcal{Y}\}_{k=1}^K$, também chamados de pontos de referência. Para simplificar a notação, usa-se $\phi_k(x) = \phi(x, m_k)$ e $\delta_k(y) = \delta(y, t_k)$. A partir de agora, assume-se $\mathcal{X} = \mathbb{R}^D$ e $\mathcal{Y} = \mathbb{R}^S$ e denota-se o conjunto $\{m_k\}_{k=1}^K$ como pontos de referência de entrada, e $\{t_k\}_{k=1}^K$ como os correspondentes pontos de referência de saída.

Considere a existência de um mapeamento g_k entre os espaços induzidos pelas funções de distância δ e ϕ tal que $g_k : \prod_{j=1}^K \phi_j(\mathcal{X}) \rightarrow \delta_k(\mathcal{Y})$. As distâncias ponto-a-ponto calculadas entre os dados e os pontos de referência no espaço de entrada são armazenados na matriz $\Phi \in \mathbb{R}^{N \times K}$. De forma similar, considere a matriz de distância na saída entre as N amostras de treinamento e os pontos de referência dada por $\Delta \in \mathbb{R}^{N \times K}$. Usando os dados, pode-se expressar o mapeamento g_k através do modelo $\Delta_{n,k} = g_k(\Phi_{n,\cdot}) + \epsilon_n$ para todo $n = 1, \dots, N$. O termo $\Phi_{n,\cdot}$ denota todas as colunas da n -ésima linha da matriz Φ e ϵ_n representa o resíduo no contexto de regressão.

A MLM assume que os mapeamentos g_k são lineares, i.e. $g_k(\Phi_{n,\cdot}) = \Phi_{n,\cdot} B_{\cdot,k}$, em que B é uma matriz de coeficientes e corresponde aos parâmetros da MLM. Isso leva à função associada ao modelo MLM $h_B(x) : \mathcal{X} \rightarrow \mathcal{Y}$ dada por

$$h_B(x) = \arg \min_y \sum_{k=1}^K \left[\delta_k^2(y) - \left(\sum_{i=1}^K \phi_i(x) B_{i,k} \right)^2 \right]^2 \quad (1)$$

onde $\delta_k(y) = \|y - t_k\|$ representa a distância euclidiana entre y e o k -ésimo ponto de referência de saída $t_k \in \mathcal{Y}$; de forma similar, $\phi_i(x) = \|x - m_i\|$ denota a distância euclidiana entre x e o i -ésimo ponto de referência de entrada; K corresponde ao número de pontos de referência.

2.1. Algoritmo de aprendizagem

O algoritmo de aprendizagem da MLM requer a definição dos seguintes passos *i)* seleção do conjunto de referência $\{(m_k, t_k)\}$; e *ii)* determinação da matriz de parâmetros B . No que diz respeito à seleção de pontos de referência, na proposta original, o MLM extrai amostras aleatoriamente a partir do conjunto de dados disponíveis para a aprendizagem.

Uma vez que os pontos de referência são retirados dos dados, temos que $K \leq N$. O número de pontos de referências K controla a capacidade do modelo, portanto, pode ser usado para evitar *overfitting*. Sob circunstâncias normais onde o número de pontos de referência selecionados é menor do que o número de pontos de treinamento (i.e., $K < N$), a matriz B pode ser estimada via método de mínimos quadrados, i.e.,

$$\hat{B} = (\Phi^T \Phi)^{-1} \Phi^T \Delta, \quad (2)$$

onde Φ e Δ são matrizes de distância no espaço de entrada e saída, respectivamente.

2.2. Estimação da saída

A predição das saídas para novos dados de entrada refere-se principalmente à resolução do problema de minimização incorporado na Eq. (1). Para uma entrada

de teste x , cujas distâncias computadas para os K pontos de referência são dadas por $\phi_1(x) \dots \phi_K(x)$, podemos estimar as distâncias entre a saída desconhecida y e os pontos de referência (na saída) usando o modelo linear entre distâncias, isto é

$$\hat{\delta}_k(y) = \sum_{i=1}^K \phi_i(x) \hat{B}_{i,k}, \quad \forall k = 1, \dots, K. \quad (3)$$

As estimativas $\hat{\delta}_1(y) \dots \hat{\delta}_K(y)$ podem então ser usadas para encontrar y no espaço de saída \mathcal{Y} . A localização de y pode ser estimada com a minimização da Eq. (1) e reescrita aqui para enfatizar a dependência de y :

$$\hat{y} = \arg \min_y \sum_{k=1}^K \left((y - t_k)^T (y - t_k) - \hat{\delta}_k^2(y) \right)^2. \quad (4)$$

Vale mencionar que $\hat{\delta}_k(y)$ não é em uma função de y , mas sim, uma estimativa pontual da função de distância real $\delta_k(y) = \|y - t_k\|_2$. Assim, da perspectiva de otimização, $\hat{\delta}_k(y)$ deve ser tratada como constante. A intuição por trás do problema de estimar a saída desejada a partir de distâncias pode ser vista na Figura 1.

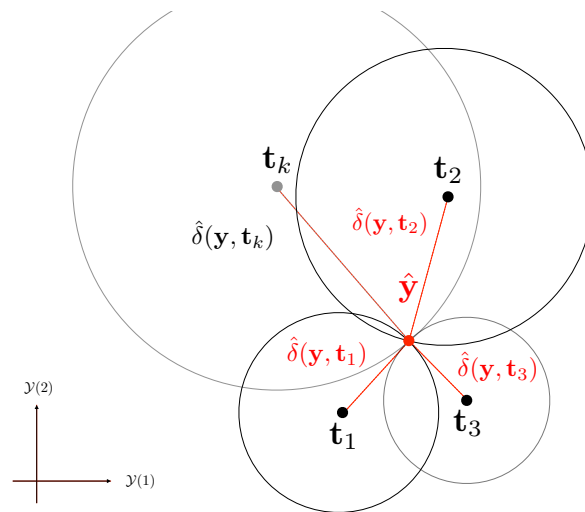


Figura 1. Estimação da saída.

A minimização da Eq. (4) também pode ser vista como um problema *multilateration*, uma vez que estamos interessados em localizar um ponto a partir das distâncias estimadas até os pontos de referência. A MLM original emprega o método de Levenberg-Marquadt (LM) para fornecer uma predição $\hat{y} = \arg \min_y J(y)$.

2.3. Pseudocódigo e Complexidade Computacional

O número de pontos de referência K é o único hiperparâmetro da MLM. Como usual, um valor para K pode ser encontrado através de técnicas de seleção de modelos, tal como validação cruzada.

O procedimento de treinamento da máquina de aprendizagem mínima está representado no algoritmo 1. O treinamento pode ser dividido basicamente em duas

partes: *i*) computar as matrizes de distâncias; *ii*) cálculo da solução de mínimos quadrados. A primeira tem custo $\Theta(KN)$, enquanto a segunda etapa tem custo $\Theta(K^2N)$, dado que a matriz pseudoinversa é encontrada utilizando SVD.

Algorithm 1 Treinamento da MLM

Require: Conjuntos de treinamento X , Y e K .

Ensure: \hat{B} , R e T .

1. Selecione aleatoriamente K pontos de referência, R , de X e suas saídas correspondentes, T , de Y ;
 2. Calcule Φ : Matriz de distâncias entre X e R ;
 3. Calcule Δ : Matriz de distâncias entre Y e T ;
 4. Calcule $\hat{B} = (\Phi^T \Phi)^{-1} \Phi^T \Delta$.
-

O procedimento de teste da máquina de aprendizagem mínima está representado no algoritmo 2.

Algorithm 2 Etapa de teste da MLM

Require: \hat{B} , R , T e x .

Ensure: \hat{y} .

1. Calcule $\phi_k(x) \quad \forall k = 1, \dots, K$;
 2. Calcule $\hat{\delta}_k(y) = \sum_{i=1}^K \phi_i(x) \hat{B}_{i,k}, \quad \forall k = 1, \dots, K$.
 3. Use T e $\hat{\delta}_k(y)$ para encontrar uma estimativa \hat{y} para a saída desejada.
-

Com relação à análise computacional da etapa de teste da MLM, consideraremos o método de Levenberg-Marquardt. Dessa forma, o custo computacional é dado por $\Theta(I(KS^2 + S^3))$, onde S é a dimensionalidade de y e I denota o número de iterações.

3. Máquina de Aprendizagem Mínima com Programação Linear

Nesta seção será apresentada a proposta deste trabalho, a máquina de aprendizagem mínima com programação linear (*Linear Programming based MLM*, LPMLM). A LPMLM propõe uma abordagem de programação linear para resolução do problema definido na Eq. (4). Assim, a etapa de treinamento da LPMLM é igual à da MLM.

A função custo dada na Eq. (4) é não-convexa. Dessa forma, mínimos globais não são garantidos. Este trabalho propõe, então reformular a função de custo da decisão da MLM, substituindo por um problema de programação linear em que a propriedade de convexidade é garantida.

Para isso, os termos quadráticos são removidos e o termo quadrático mais externo que mede o desvio em relação às distâncias na saída é substituído por valor absoluto, fornecendo então a função da LPMLM:

$$h_B^{PL}(x) = \arg \min_y \sum_{k=1}^K \left| |y - t_k| - \left(\sum_{i=1}^K \phi_i(x) B_{i,k} \right) \right| \quad (5)$$

É importante ressaltar que a formulação dada na Eq. (5) é válida somente para saídas unidimensionais, i.e., $S = 1$ e assim $|y - t_k|$ representa um escalar. Dessa forma, a aplicabilidade da LPMLM se dá a problemas de regressão.

O problema agora precisa ser colocado na forma de um programa linear, ou seja. Para isso, utilizamos o fato que o valor absoluto de $|y - t_k|$ é o menor valor z tal que $z \geq y - t_k$ e $z \geq -y + t_k$. Aplicando essa ideia na Eq. (5), chega-se a:

$$\begin{aligned} \min \quad & \sum_{k=1}^K w_k \\ \text{s.t.} \quad & z_k \geq y - t_k, \quad k = 1, \dots, K \\ & z_k \geq -y + t_k, \quad k = 1, \dots, K \\ & w_k \geq z_k - \left(\sum_{i=1}^K \phi_i(x) B_{i,k} \right), \quad k = 1, \dots, K \\ & w_k \geq -z_k + \left(\sum_{i=1}^K \phi_i(x) B_{i,k} \right), \quad k = 1, \dots, K \end{aligned}$$

As variáveis de decisão agora são $y, \{z_k\}_{k=1}^K, \{w_k\}_{k=1}^K$. Juntando as variáveis de decisão no vetor $p = [w_1, w_2, \dots, w_K, z_1, \dots, z_K, y]^T$, pode-se colocar o problema no formato $\min_p \{c^T p \mid Ap \geq b\}$, com

$$A = \begin{bmatrix} 0_{K \times K} & I_{K \times K} & -1_{K \times 1} \\ 0_{K \times K} & I_{K \times K} & 1_{K \times 1} \\ I_{K \times K} & -I_{K \times K} & 0_{K \times 1} \\ I_{K \times K} & I_{K \times K} & 0_{K \times 1} \end{bmatrix} \quad b = \begin{bmatrix} -t_1 \\ \vdots \\ -t_K \\ t_1 \\ \vdots \\ t_K \\ -\sum_{i=1}^K \phi_i(x) B_{i,1} \\ \vdots \\ -\sum_{i=1}^K \phi_i(x) B_{i,K} \\ \sum_{i=1}^K \phi_i(x) B_{i,1} \\ \vdots \\ \sum_{i=1}^K \phi_i(x) B_{i,K} \end{bmatrix} \quad c = \begin{bmatrix} 1_{k \times 1} \\ 0_{k \times 1} \\ 0_{1 \times 1} \end{bmatrix}$$

O problema na forma geral está pronto para ser utilizado nas principais bibliotecas de programação linear. Neste trabalho, foi utilizado o solver do método simplex do software Octave.

O método simplex é caracterizado da seguinte forma: se um problema de programação linear no formato padrão tiver uma solução ótima, existe uma solução viável básica que é ótima. O algoritmo é baseado neste conceito e procura por

uma solução ótima ao passar de uma solução básica viável para outra, ao longo das bordas do conjunto viável, sempre em uma direção que permita a redução do custo. Eventualmente, uma solução básica viável é atingida e nenhuma direção conduz a uma redução de custo. Neste ponto, a solução viável é ótima e o algoritmo termina [Bertsimas and Tsitsiklis 1997].

O algoritmo simplex utilizado para resolver problemas de programação linear possui complexidade exponencial no pior caso, mas mesmo assim, para muitas instâncias ele é bastante rápido e tem comportamento polinomial para vários problemas práticos, o que torna ele um dos poucos exemplos conhecidos de algoritmo exponencial que é eficiente. O conjunto de problemas para os quais o simplex apresenta comportamento exponencial é muito pequeno.

4. Resultados

Nesta seção, são apresentados os resultados alcançados pela máquina de aprendizagem mínima usando programação linear em 5 problemas reais de regressão extraídos do repositório de aprendizagem de máquinas da University of California at Irvine (UCI Machine Learning — www.ics.uci.edu/mlearn/). Todos os experimentos foram realizados utilizando o software Octave em plataforma Linux. Os conjuntos de dados são descritos na Tabela 1.

Tabela 1. Descrição dos conjuntos de dados: Dimensões de entrada, e número de amostras de treino e teste.

Conjunto de Dados	Entrada	Treino	Teste
Auto Price	15	106	53
Breast Cancer	32	129	65
Boston	13	337	169
Servo	4	111	56
Stocks	9	633	317

Os conjuntos de dados foram escolhidos para heterogeneidade do objeto no número de amostras de entradas. Todos os conjuntos de dados foram pré-processados da mesma maneira. As variáveis categóricas foram removidas bem como as amostras contendo valores faltantes. Dez diferentes permutações aleatórias dos conjuntos de dados inteiros são tomadas, e dois terços são usados para criar o conjunto de treinamento e o restante para o conjunto de teste. Em seguida, o conjunto de treinamento é normalizado com média zero e variância unitária e o conjunto de teste é normalizado usando a mesma média e variância do conjunto de treinamento.

O hiperparâmetro da Máquina de Aprendizagem Mínima, o número de pontos de referência (K), foi otimizado usando validação cruzada de 10 vezes (*10-fold crossvalidation*) com pontos de referência selecionados aleatoriamente em um intervalo de 5% a 100% (com um tamanho de passo de 5%) das amostra de treinamento disponíveis.

Todos os experimentos seguem a mesma diretriz encontrada em [SOUZA JUNIOR et al. 2013]. Todos os experimentos são repetidos por dez ro-

dadas independentes. Os modelos são comparados utilizando as estatísticas de média e desvio-padrão que são extraídas a partir do erro quadrático médio (*Mean Squared Error*, MSE) dos cinco conjuntos de dados. Os resultados estão disponíveis na Tabela 2. A LPMLM é comparada com a MLM original e outros dois métodos clássicos em aprendizagem de máquina: Máquina de Vetores Suporte para Regressão (*Support Vector Regression*, SVR) e Redes Perceptron multicamadas (*Multilayer Perceptrons*, MLP).

Tabela 2. Erro Quadrático Médio: média e desvio-padrão.

Conjunto de Dados	Métodos			
	LPMLM	MLM	MLP	SVR
Auto Price	$7.9e + 6$	$2.6e + 7$	$1.0e + 7$	$9.8e + 7$
	$3.8e + 6$	$2.7e + 7$	$3.9e + 6$	$8.4e + 6$
Breast Cancer	$1.1e + 3$	$1.1e + 3$	$1.5e + 3$	$1.2e + 3$
	$1.5e + 2$	$1.8e + 2$	$4.4e + 3$	$7.2e + 1$
Boston	$1.9e + 1$	$1.9e + 1$	$2.2e + 1$	$3.4e + 1$
	5.9	9.0	8.8	$3.1e + 1$
Servo	$5.4e - 1$	$4.6e - 1$	$6.0e - 1$	$6.9e - 1$
	$3.0e - 1$	$3.0e - 1$	$3.2e - 1$	$3.2e - 1$
Stocks	$3.5e + 1$	$4.1e - 1$	$8.8e - 1$	$5.1e - 1$
	$4.6e + 1$	$5.8e - 2$	$2.1e - 1$	$9.8e - 2$

Pode ser observado que o modelo LPMLM apresenta resultado competitivo com todos os algoritmos em três conjuntos dentre os cinco avaliados. No conjunto Servo, o LPMLM não teve melhor desempenho que a MLM original, mas teve resultado superior ao MLP e SVR. Já no conjunto Stocks ele se mostrou menos eficiente que os três modelos. Além disso, o método LPMLM apresenta sempre a menor variância, mostrando assim maior confiabilidade quanto ao desempenho preditivo.

5. Conclusão

O artigo apresentou uma nova formulação para a etapa de teste da máquina de aprendizagem mínima. Tal formulação consiste de um problema linear que equivale a uma otimização (maximização ou minimização) de uma função linear sujeita a restrições lineares, que por sua vez possui mínimo global garantido. Isso evita então o aspecto variável de minimizar uma função custo não-convexa através de métodos baseados em gradiente, que é apresentado na MLM original.

Os resultados apresentados demonstraram a viabilidade da proposta, uma vez que a LPMLM mostrou desempenho no mínimo equivalente àquele alcançado via método MLM original com base em experimentos realizados com conjuntos de dados reais do UCI Repository (problemas de regressão). Além disso, a formulação proposta permitiu reduzir a variância nos resultados alcançados pela MLM.

6. Referências

- Bertsimas, D. and Tsitsiklis, J. N. (1997). *Introduction to Linear Optimization*.
- Bishop, C. M. et al. (2006). *Pattern recognition and machine learning*, volume 1. Springer New York.
- Hastie, T., Tibshirani, R., and Friedman, J. (2001). *Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference and Prediction*. Springer.
- Hinton, G. E. and Salakhutdinov, R. R. (2006). Reducing the dimensionality of data with neural networks. *Science*, 313(5786):504–507.
- Krizhevsky, A., Sutskever, I., and Hinton, G. E. (2012). Imagenet classification with deep convolutional neural networks. In Pereira, F., Burges, C. J. C., Bottou, L., and Weinberger, K. Q., editors, *Advances in Neural Information Processing Systems 25*, pages 1097–1105. Curran Associates, Inc.
- Lenz, I., Lee, H., and Saxena, A. (2015). Deep learning for detecting robotic grasps. *International Journal of Robotics Research (IJRR) Special Issue on Robot Vision*.
- Sainath, T., Kingsbury, B., Saon, G., Soltau, H., rahman Mohamed, A., Dahl, G., and Ramabhadran, B. (2015). Deep convolutional neural networks for large-scale speech tasks. *Neural Networks*, 64:39–48.
- Silver, D., Huang, A., Maddison, C. J., Guez, A., Sifre, L., van den Driessche, G., Schrittwieser, J., Antonoglou, I., Panneershelvam, V., Lanctot, M., Dieleman, S., Grewe, D., Nham, J., Kalchbrenner, N., Sutskever, I., Lillicrap, T., Leach, M., Kavukcuoglu, K., Graepel, T., and Hassabis, D. (2016). Mastering the game of go with deep neural networks and tree search. *Nature*, 529:484–503.
- SOUZA JUNIOR, A. H., Corona, F., Miché, Y., Lendasse, A., Barreto, G., and Simula, O. (2013). Minimal learning machine: A new distance-based method for supervised learning. In *Proceedings of the 12th International Work Conference on Artificial Neural Networks (IWANN'2013)*, volume 7902 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 408–416. Springer.
- Souza Júnior, A. H., Corona, F., Barreto, G. A., Miche, Y., and Lendasse, A. (2015). Minimal learning machine: A novel supervised distance-based approach for regression and classification. *Neurocomputing*, 164:34 – 44.

A New Multi Objective Approach for Optimizing p-median Modeling in School Allocation using Genetic Algorithm

Clahildek Matos Xavier¹, Marly Guimarães Fernandes Costa² and Cícero Ferreira Fernandes Costa Filho²

¹Operations and Management Center of the Amazonian Protection System (CENSIPAM) – Manaus, AM – Brazil

²Federal University of Amazonas (UFAM) – Manaus, AM – Brazil

{clahildek, marlygfcosta, cffcfilho}@gmail.com

Abstract. *This paper proposes a new methodology for a multi parameter approach using the p-median. The optimized solution must fulfill the following criteria: It must minimize distances between cities without a university to a city that has a university; It must prioritize cities with a higher population; It must prioritize cities with a lower United Nation Human Development Index. The use of a multiparametric approach was only possible by introducing the concept of a generalized distance. The results compare the existing distribution of campuses of the Federal system with the best location resulting from the multi parameter method proposed here. Locations for expansion of the current established university in Amazonas State, Brazil, are proposed.*

1. Introduction

The percentage of the population in Brazil with access to college education is only 14%, according to an OECD report (OECD, 2015), so there is much room for growth of higher education in Brazil. There are national policies in place intended to increase the population of college graduates, by means of grants that allow student admission to private Higher Education Institutions (HEI) through programs such as REUNI – Restructuring and Expansion of Federal Universities (Ministry of Education, 2010). The REUNI program provide slots for 30% of the population within the age group of 18 to 24, based on expanding current degree programs or creating new ones.

Provisions for expanding Higher Education Establishments (HEE) under REUNI towards the interior of Brazil are meant to establish, between years 2013 and 2018, an HEE in every city with either over 200,000 inhabitants or over 200km away from state HEE campuses. Both criteria determined for the country, in a broad sense, require further analysis as far as the Brazilian Amazon region is concerned due to its distinctive features, including long distances between cities and low population density overall.

In order to provide an overview of this context, the state of Amazonas-Brazil comprises 62 cities and accounts for more than 180,000 Secondary School Pupils (SSP) living in the interior, totaling some 50% of the entire SSP population in the state (Brazilian Institute of Geography and Statistics, 2012). The other 50% lives in the capital, Manaus. The SSP population is the one that will enter in an HEE. Access to such cities is typically managed by inland waterway navigation and the distances between locations can reach 1,500km (National Waterway Transportation Agency,

2013). Only the State capital city, Manaus, is home to a population greater than 200,000 dwellers (Brazilian Institute of Geography and Statistics, 2010).

Transportation of students from the interior to the nearest higher education establishment is time consuming and usually done by river. An alternative way to diminish such transportation difficulties, as per REUNI proposals, is to establish new higher education units in the interior. In Amazonas State, the federal system of higher education comprises 6 units. The aims of this paper concerns the higher education federal system of Amazonas State and are as follows: show that a high yet impractical number of higher education units are necessary to satisfy the REUNI criteria; evaluate the present distribution of higher education units of federal system; and propose a new methodology for selecting the best sites for constructing new college campuses.

The optimal location of schools has been addressed in the literature. Some studies solve a single objective optimization problem as follows. Pizzolato et al. (2004) proposed the use of uncapacitated p -median models (PMP) as well as capacitated (CPMP) to determine the location for p schools in Vitoria, Espirito Santo state, Brazil. The optimization criterion is to minimize students total travel distance to the nearest school. A Lagrangian heuristic was used for the optimization problem. Currently, the total distance that students travel to schools they are assigned to was 99,220m. After determining location, by means of the uncapacitated p -median method, this distance decreased to 70,252m and to 85,080m with capacitated modeling.

In Teixeira et al. (2007), a variant of the p -median model was employed in order to determine p schools, in the city of Coimbra, Portugal. The optimization criterion is maximizing the accessibility of students to schools, with constraints on maximum and minimum capacity occupation. The optimization problem considered 11 existing secondary schools, 43 population centers and the total student-to-school distance of 21,097.8km. An XPRESS-MP mixed-integer programming optimizer was used. They achieved an optimized value of 10,861.2km for the sum of distances, for 14 schools: 10 existing schools are maintained, 4 new schools are created and only one existing school is closed.

Menezes and Pizzolato (2014) proposed location of new schools, during the years 2015 – 2020, in the Guaratiba area, assessment region 5, Rio de Janeiro, Brazil, relying on capacitated p -median and maximum coverage models. They sought to minimize total student travel distance to the nearest school. Each school had a 1,300-student maximum capacity and the total number of new schools was 15. For the second model they sought to maximize population coverage within a pre-set 1,500m maximum distance. Both approaches were solved using an AIMMS (Advanced Interactive Multidimensional Modeling System) tool based on a CPLEX solver.

Some studies solve multi objective problems. In Gac et al. (2009) the authors aim at maximizing individuals' utility and school profits. The objective function to be maximized defines the social benefits, which are modeled as aggregated quantities and measure the economic profits gained by schools and aggregate individuals' surplus. The authors employed a linear deterministic model. Amaya et al. (2015) proposed a model for determining the location of schools aiming at minimizing school fixed and overhead costs such as per-hour rates. Such work took into consideration the cost for opening and closing existing school facilities. The problem was optimized using CPLEX 9.1. They managed to reduce over 30% of total costs for a 5-year period.

The aforementioned papers that use the p-median model to determine school location have only a single objective: minimize student travel distance, with the center population as weight. This paper aims to evaluate application of a p-median model, using a new multi objective approach. The multi objectives considered are the following: minimize student travel distance, maximize population on centers with allocated schools and minimize the United Nation's Human Development Index (UN HDI) of centers with allocated schools. This new multi objective proposal for p-median is only possible through the use of a generalized distance that encompasses three parameters: student travel distance, center population and UN HDI. In this paper, these parameters are normalized using median approach. Kariv and Hakimi (1979) have shown that the p-median problem is NP-hard. With the aim of obtaining the best location with the 62 cities, we employed the Genetic Algorithm - GA.

This paper is organized as follows. Section 2 presents how the Data used in the study were obtained. Section 3 shows the generalized distance, the normalization parameters and the evaluation index used to compare two location solutions. Section 4 presents the location problem modeling with the p-median model. Section 5 shows how GA was modeled to solve the p-median problem. Section 6 shows the results of locating a university or college for the entire set of cities using GA. Section 7 presents the conclusions and outlines the main contributions of this study.

2. Data

The Data used in this work consist of distances between cities, their populations and UN HDI. Population and UN HDI were acquired from the National Geography and Statistics Institute – IBGE (2010, 2012). The distances considered between cities were those corresponding to fluvial distances, which refer to the main means of transportation used in that region.

Some fluvial distances were established through data from the National Waterway Transportation Agency – ANTAQ (2013). Other distances missing from this database were acquired by means of one of the following methods: 1) subtraction between known routes along the same river; 2) using Google Maps API to measure the route between two cities set in different rivers or tributaries.

The Federal University of Amazonas (UFAM) has campuses in six cities: Manaus (capital), Parintins, Itacoatiara, Benjamin Constant, Coari, and Humaitá (Federal University of Amazonas, 2006).

3. Generalized Distance, Normalization of Parameters and Evaluation Index

Choosing a particular city for locating a college or university must abide by the following criteria: 1) cities with a larger SSP population must be prioritized; 2) cities with the lowest UN HDI must be prioritized; 3) minimizing the distances between those cities with established campuses and those without must be pursued. In order to insert such criteria into the solution by means of p-median, the concept of generalized distance was created to combine all these criteria into a single equation (Xavier et al., 2016). One generalized distance has been proposed, the generalized Manhattan distance, Eq.(1). This distance was named generalized for they include non-geometric coordinates.

$$d_{ij}^{Man_gen} = d_{ij} + \frac{|p_i - p_j|}{\left(\frac{p_i + p_j}{2}\right) |p_i - p_j| + k_1} + \frac{\left(\frac{HDI_i + HDI_j}{2}\right) |HDI_i - HDI_j|}{|HDI_i - HDI_j| + k_2} \quad (1)$$

In Eq.(1): $d_{ij}^{Man_gen}$ is the generalized Manhattan distance; d_{ij} is the normalized river navigation distance between cities i and j ; p_i and p_j are the normalized student population for cities i and j , respectively; HDI_i and HDI_j are the normalized UN HDI for cities i and j , respectively; k_1 and k_2 are extremely small constants compared to other terms and, in this case, were determined to equal 10^{-4} . These two constants are intended to prevent indetermination in expression (1), when $i=j$, for it satisfies condition of reflexivity.

This distance hereby proposed is proximity measure, for they satisfy conditions of similarity, positivity, and reflexivity (Xu and Wunsch, 2008). However, such distance is not proximity metric, for it fails to satisfy the triangle inequality condition. The parameters used in Eq.(1) were normalized using median values, Eq.(2):

$$x_i = x_i^*/X_i \quad (2)$$

In Eq.(2): x_i^* stands for non-normalized parameters distance, population or UN's HDI for cities; x_i is the normalized parameter value; X_i is the median (Bussab and Morettin, 2009) of a parameter x_i^* . The index proposed in this study for evaluating a location solution is given by means of Eq.(3):

$$Index = \left(\frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{ij} x_{ij}}{n - p}\right)^{-1} + \frac{\sum_{i=1}^n p_i x_{ii}}{p} + \left(\frac{\sum_{i=1}^n UN's\ HDI_i x_{ii}}{p}\right)^{-1} \quad (3)$$

In Eq.(3): d_{ij} is the fluvial distance obtained in a location solution, normalized by maximum and minimum values, between city i with no college to city j with a college nearest to it; p_i is the population of city i , normalized by maximum and minimum values, of population of cities with a college; UN's HDI are the UN HDI, normalized by maximum and minimum values, of cities with a college or university; p and n are the total number of colleges and total number of cities, respectively, with $0 < p < n$. Eq.(8) defines the variable x_{ij} .

4. Problem Modeling with p-median

This model aims to find an optimal solution for allocating higher education institution using a multiobjective approach. Mathematical modeling for the p-median problem on locating education schools in this study corresponds to:

Minimize:

$$f = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{ij}^{Man_gen} x_{ij} \quad (4)$$

Subject to:

$$\sum_{i=1}^n x_{ii} = p \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, \quad \forall i \in \{1, \dots, n\} \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} \leq nx_{jj}, \quad \forall j \in \{1, \dots, n\} \quad (7)$$

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{if } \exists \text{ a school in municipality } j \text{ and if} \\ & \text{municipality } i \text{ is nearest to } j \text{ than any other} \\ & \text{municipality with an allocated school;} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (8)$$

The p-median modeling just presented is a classical one. The only difference is that the objective function of Eq.(4) minimizes the generalized Manhattan distance. The constraint of Eq.(5) determines that precisely p facilities must be open. Constraint of Eq.(6) requires that each city be assigned a single campus. Constraint of Eq.(7) forces cities with no allocated schools to be associated only with cities with allocated schools. Eq.(8) indicates the binary nature of the decision variables.

5. Genetic Algorithm modeling for solve p-median problem

Holland (1975) is credited with originally designing the first genetic algorithm (GA). According to Chong and Zak (2013), the main steps of GA are defined in the flowchart of Figure 1. The genetic algorithm starts with a population $P(0)$ of N chromosomes. The chromosome is an encoding of the problem information and encompasses the following data: alphabet, length and encoding. For the p-median problem of this paper, we use the following data: alphabet – $\{0, 1\}$; length – 62; encoding – 0 corresponds to a city without a college and 1 corresponds to a city with a college. The stopping criterion used is the number of iterations of the GA. Originally, the fitness function is the function given by Eq.(4), using the generalized Manhattan distance. Next, we discuss the three operators of the GA, selection, crossover and mutation used for solving the p-median problem. The last two are used in the evolution stage shown in Figure 1.

The selection operator is employed to select the members of the mating pool, $M(k)$. The size of the mating pool, N, is the same size of the population $P(k)$. To select the members for the mating pool, the roulette-wheel scheme was used. The probability of selecting a member of $P(k)$ for the mating pool using the roulette was defined through the linear rank method. This probability is given in Eq.(9).

$$p(s_i) = \text{rank } s_i / \sum_{k=1}^n \text{rank } s_k \quad (9)$$

As the problem is of minimization, the fitness function values were ordered by decreasing values. The value of the fitness function was not used for the probability

calculation because high values of the fitness function dominate the population, generating a premature convergence of GA.

To pick parents for crossover, two chromosomes were randomly selected from the mating pool. So, the probability of selecting a chromosome from the mating pool is given by $p_c = 1/N$. The crossover operation was carried out as proposed by Picek et al. (2013). These authors showed that a combination of several operators result in a better performance for the GA. In this study, the following operators were used: 1) one-point crossover; 2) two-point crossover; 3) uniform crossover; and 4) random operator. For each one of these operators, an occurrence probability of 0.02, 0.03, 0.05 and 0.9 was defined. The three first operators can generate a solution with a number of cities with allocated schools different from p . These solutions are called inviable solutions. Figure 2 illustrates the generation of an inviable solution with the uniform operator. For this example, a chromosome was employed with length equal to 10 and $p=4$. With the crossover random mask, the offspring chromosome has five cities with allocated schools. To solve this problem, the second term of a new fitness function, Eq.(10), penalizes chromosomes with a number of cities with allocated schools different from p . In some results that will be presented in the next section, some cities must be considered fixed in the solution. In these cases, term 3 of Eq.(10) penalizes the solutions that do not have these cities.

$$F(X) = f(X) + |S - p| * \max(d_{ij}^{Man_gen}) + N * \max(d_{ij}^{Man_gen}) \quad (10)$$

In Eq.(10): $F(X)$ is the fitness function with type 1 and type 2 penalties; $f(X)$ is the original fitness function defined by Eq.(4); S is the number of cities with schools in the location solution; N is the number of fixed cities not present in a location solution.

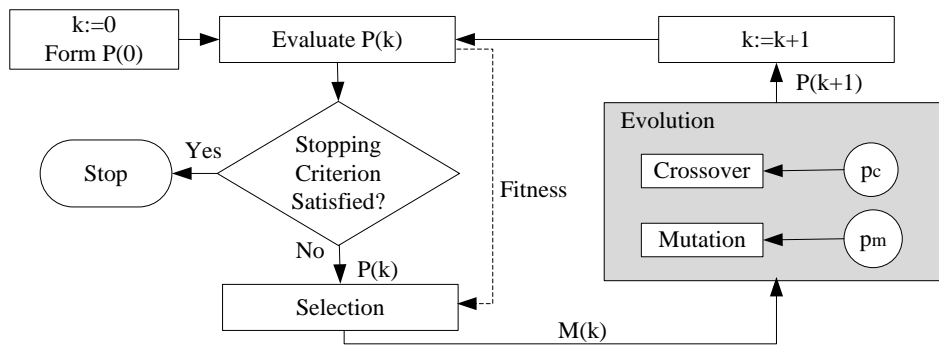


Figure 1. Steps of Genetic Algorithm (After Chong and Zak, 2013). $P(k)$ – population at instant k ; p_c - crossover probability; p_m - mutation probability.

Parent 1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0
Parent 2	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
Crossover mask	0	1	1	1	0	1	0	0	1	0
Offspring	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0

Figure 2. Generating inviable solutions with the uniform operator. Only for this example, the chromosome length was equal to 10 and $p = 4$.

To implement the random operator, we adopted the following approach: first, the chromosome length was transformed from 62 to p . Each one of the p genes represents the decimal position of the 1’s in the original chromosome. In the sequence, a

random mask, of size p , like the one in the uniform crossover, is generated. With this mask, the first offspring is generated. For generating the second offspring, this mask is inverted. Figure 3(a) illustrates this process. As shown, in the offspring there are genes duplicated. To solve this problem, from the set of decimal numbers of both parents that are not in one offspring, one chooses a random decimal number to change the duplicated value. Figure 3(b) illustrates this process for offspring 1.

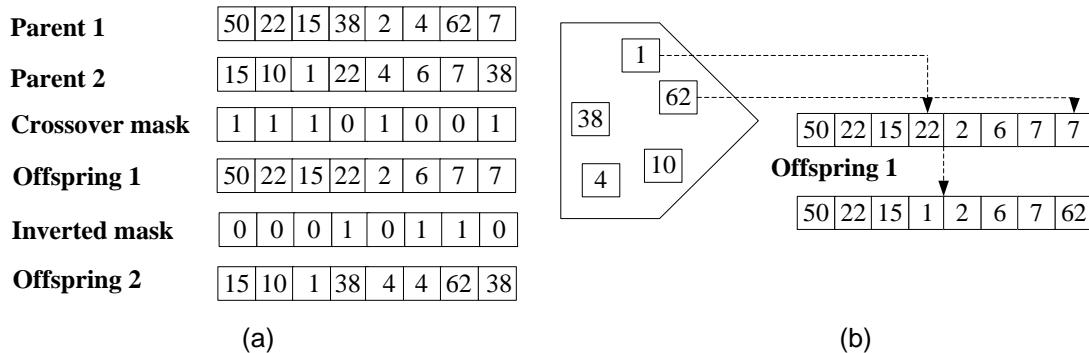


Figure 3. Random operator used for implementing crossover: (a) generating offspring; (b) eliminating duplicated genes.

For mutation step, the reciprocal exchange mutation called a Twors mutation operator was used (Abdoun et al., 2012). This operator selects two genes randomly and then swaps its values. Evidently, no mutation takes place when the two selected genes have the same value. To prevent this situation, we have adapted the Twors mutation operator as follows. Initially, the genes of a chromosome are divided in two subsets: a) one subset composed of genes with values equal to 1, C_1 ; b) another subset composed of position genes with values equal to 0, C_2 . Subsequently, one gene is selected randomly from each subset, C_1 and C_2 , with uniform probability $p_1 = 1/C_1$ and $p_2 = 1/C_2$, respectively. Then, these two genes are swapped between C_1 and C_2 . The probability p_m of a given chromosome suffers a mutation is 0.2.

The parameters used in this study for GA are described in the sequence. Population size = 300. Maximum number of iterations = $200 \cdot p$. Number of individuals selected for crossover = 80% of population size. Number of individuals selected for mutation = 20% of population size. The simulation for this heuristic was performed at MATLAB R2014a on a ASUS Intel(R) Xeon(R) Processor @1.80-2.40 GHz computer with 8 GB of RAM and Windows 10.

6. Results obtained with the GA

The results section comprises three subsections. The first one shows results obtained with our GA that meet the REUNI requirements. The second section evaluates the existing campus locations of the federal system, in Amazonas state, comparing them with similar locations, obtained with our GA algorithm. Finally, the third section, presents a proposal for expanding federal system to 10 and 15 campuses, preserving the current system location.

6.1. Location solutions that meet REUNI criteria

In this study, location solutions with number of colleges varying from 10 to 50 were obtained for GA algorithm. Table 1 shows a reduced set of these results (only 13 values), for GA.

Table 1. Results of locations with number of universities or colleges varying from 10 to 50, for GA algorithm.

Number of colleges	Mean fluvial distance	Mean SSP	Mean UN HDI	Evaluation index	Meets REUNI requirement?	Maximum fluvial distance	Execution time (s)
10	272.90	21,938.40	0.578	21.08	No	1001	275.92
14	223.27	16,657.57	0.579	25.24	No	616	398.93
18	191.23	13,424.67	0.574	29.23	No	505	549.29
22	170.03	11,285.27	0.566	32.79	No	505	691.95
26	148.50	9,785.15	0.559	37.41	No	402	882.24
30	130.72	9,064.67	0.556	42.32	No	324	1,186.82
34	129.96	8,082.76	0.552	42.66	No	285	1,214.22
38	133.92	7,488.74	0.553	41.41	No	285	1,505.66
42	116.65	6,856.14	0.555	47.22	No	285	1,749.85
46	93.19	6,778.52	0.559	58.70	No	226	1,966.97
48	93.93	6,531.63	0.559	58.23	Yes	170	2,398.75
49	92.54	6,535.10	0.560	59.09	Yes	170	2,074.14
50	93.08	6,458.48	0.560	58.74	Yes	170	2,387.90

The simulations use the generalized distance shown in Eq.(1). For these solutions, we calculated: the average fluvial distances between cities without a university or college to the nearest city with a university or college; the average SSP population and UN HDI of cities with an allocated high school; and the evaluation index. As shown in Table 1, for GA algorithm, the locations with 48, 49 and 50 campuses meet the REUNI requirement: the maximum distance of a city without a university or college to a city with a university or college is less than 200km. The conclusion is that to meet the REUNI requirements, a high number of universities or colleges must be constructed. This is impractical, not only due to the high cost of the solution, but also because it implies founding a university or college in small cities, with an insufficient SSP population.

6.2. Evaluation the existing campus locations of the federal system in Amazonas state

This section compares the locations obtained with our GA algorithm with the current distribution of Federal University campuses. Section 2 shows that UFAM has 6 campuses in Amazonas State. Figure 4 shows a comparison of GA location with the current location of UFAM. In this figure, the urban and rural areas of the cities are shown. The blue color indicates that a city was chosen by both GA and UFAM. The gray color highlights cities selected only by UFAM. The green color indicates cities selected only by GA. Table 2 shows the mean fluvial distance, mean SSP, mean UN HDI and evaluation index computed for these two locations.

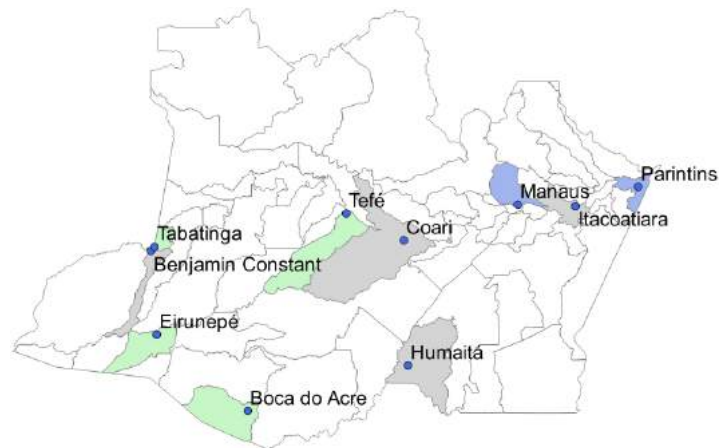


Figure 4. Location solutions performed by GA compared to current distribution of UFAM.

As shown in Figure 4, the GA algorithm selected the following cities: Manaus, Parintins, Tefé, Tabatinga, Eirunepé and Boca do Acre. The p-median modeling optimized by GA method prioritizes cities with a high number of inhabitants, such as Manaus, Parintins, Tefé and Tabatinga. Those cities have a population greater than 60,000 dwellers and cities with lower values of UN HDI, such as Eirunepé and Boca do Acre, 0.563 and 0.588, respectively. Differing from our approach, the location produced by UFAM prioritizes, in general, cities with a higher population.

Table 2 shows mean fluvial distance, mean SSP, mean UN HDI and evaluation index computed for these two locations.

According to Table 2, GA algorithm results in better value of the evaluation index than the UFAM location. The best value for the evaluation index corresponds to GA algorithm, 17.28. This behavior of the evaluation index is due to the lower value of mean fluvial distance obtained with our GA algorithm.

Table 2. Mean values of fluvial distance, SSP, UN HDI and evaluation index for locations of 6 campuses of UFAM and GA algorithm.

Distribution	Mean fluvial distance	Mean SSP	Mean UN HDI	Evaluation index
UFAM	536.64	38,131.00	0.634	11.23
GA	328.50	36,538.33	0.634	17.28

6.3. Expansion proposal for Federal campus

It is very expensive to reallocate existing schools already established in cities of the interior of Amazonas State. So, in this section, we propose an expansion of the current campuses of UFAM, preserving the current existing schools. For this system, we propose an expansion to 10 and 15 schools. Figures 5(a) and 5(b) show the predicted expansion of UFAM for 10 and 15 campuses, respectively. In these figures, the current existing schools are highlighted in color, and the new allocation schools are marked green.

As shown in Figure 5(a), the p-median problem solved by the GA algorithm selected the following cities for developing 4 new schools: Pauini, Eirunepé, Guajará and Tefé. Our proposal of opening 4 new campuses for UFAM using the p-median modeling, presented in this study, prioritizes cities with a high number of inhabitants,

such as Tefé that has a population greater than 60,000 inhabitants and cities with lower values of UN HDI, such as Pauini, Eirunepé and Guajará, 0.496, 0.563 and 0.532, respectively.

As shown in Figure 5(b) the p-median problem solved with the GA algorithm method selected the following cities for creating 9 new schools: Apuí, Boca do Acre, Canutama, Eirunepé, Guajará, Ipixuna, Itamarati, Pauini and Tefé. This expansion prioritizes cities with a high number of inhabitants, such as Tefé that has a population greater than 60,000 inhabitants and cities with lower UN HDI values, such as Boca do Acre, Canutama, Eirunepé, Guajará, Ipixuna, Itamarati, Pauini, 0.588, 0.530, 0.563, 0.532, 0.481, 0.477 and 0.496, respectively. The city of the Apuí has a relatively high UN HDI value of 0.637, and a lower population, around 20,648 inhabitants. The question is why was this city selected instead of the city of São Gabriel da Cachoeira? The answer is that the first city is farther away from large urban centers such as Manaus than the second one, 1,365km versus 1,001km of fluvial distance, respectively.

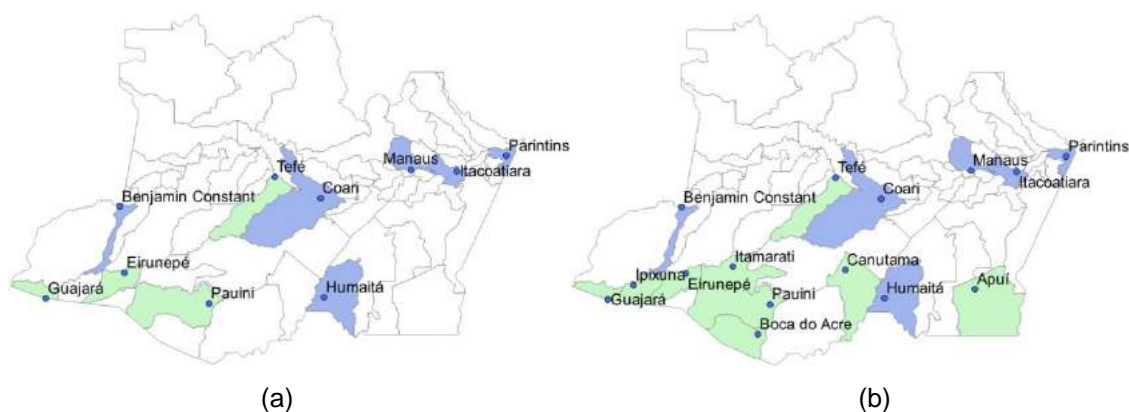


Figure 5. Proposal for expanding the Federal University of Amazonas: (a) 10 campuses; (b) 15 campuses. Blue color: cities currently with institutions of higher learning. Green color: cities chosen for establishing new schools.

One can observe that the proposal for expanding UFAM, based on a multiparametric approach, selects cities mainly in the Southwest subregion of Amazonas state. In this region there are many cities with lower UN HDI values, with considerable fluvial distances between them and great population centers, such as Manaus, Parintins, etc. Thus, another contribution of this work is to emphasize the necessity of social development of these cities.

7. Conclusion

This study proposed a new methodology for a multiparameter approach using the p-median. This was possible by introducing generalized Manhattan distance, a proximity measure, that, besides the geographic distance, allows for including other parameters relevant to the nature of the problem. In this study, the other parameters considered were the population of secondary pupils and the United Nations' Human Development Index. These parameters are normalized using median approach. The study proposes an optimization expression that allows direct and inverse dependence with the parameter.

This new multiparametric approach for the p-median problem was applied to a case study of university in Amazonas State, situated in the northern region of Brazil, with 62 cities. In this study, genetic algorithm heuristic was employed to solve the p-

median location problem in 62 cities. To comply with REUNI requirements in Amazonas State, using the multiparametric approach, a minimum of 48 cities with colleges is required. This is an impractical number of schools, mainly due to the cost and because it does not justify establishing a university in a very small city.

In Amazonas State, the Federal University of Amazonas, an institution of higher learning, operating in 6 cities. To compare with these currently established schools, simulations using GA algorithm with the same number of schools were done. The locations obtained with the our GA algorithm result in lower mean distances between cities with schools and cities with no schools compared with the existing distribution of schools.

Finally, the main contribution of this study is to propose a guide for expanding the current Federal University, based on a multiparametric approach. In a future study, with the objective of finding a set of solutions in a search space, the Pareto-optimal method will be applied to solve the same problem.

References

- Abdoun, O., Abouchabaka, J., & Tajani, C. (2012). Analyzing the Performance of Mutation Operators to Solve the Travelling Salesman Problem. *International Journal of Emerging Sciences*, 2(1), 61-77.
- Amaya, J., Peeters, D., Uribe, P., & Valenzuela, J. P. (2015). Optimization Modeling for Resource Allocation in the Chilean Public Education System. *International Regional Science*, 39(2), 155-176.
- Brazilian Institute of Geography and Statistics – IBGE (2012). Union Official Journal, 1, 65 - 246. Secondary School Students Achievements.
- Brazilian Institute of Geography and Statistics – IBGE (2010). XII Demographic Census.
- Bussab, W. O., & Morettin, P. A. (2009). *Basic Statistics*. (6th ed.). Saraiva Publisher. (Section 3.1: Position Measures).
- Chong, E. K. P & Zak, S. H. (2013). *An Introduction to Optimization*. (4th Ed.). Canada. John Wiley & Sons. (Chapter 14: Global Search Algorithms).
- Federal University of Amazonas –UFAM (2006). Institutional Development Plan 2006-2015. http://www.proplan.ufam.edu.br/PDI_06a15.pdf. Accessed: 08.08.16.
- Gac, I., Martínez, F., & Weintraub, A. (2009). A deterministic linear optimization model for allocating schools to zones. *Journal of the Operational Research Society*, 60, 895-905.
- Holland, J. H. (1975). *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. University of Michigan Press.
- Kariv, O., & Hakimi, S. L. (1979). An algorithmic approach to network location problems. II: the p-medians. *Journal of Applied Mathematics*, 37, 539–560.
- Menezes, R. F., & Pizzolato, N. D. (2014). Locating public schools in fast expanding areas: application of the capacitated p-median and maximal covering location models. *Pesquisa Operacional*, 34(2), 301-317.

- Ministry of Education (2010). VIII National REUNI Workshop: Federal Universities - Consolidation and Expansion 2011-2020, Support for the National Education Plan. Brazil.
- National Waterway Transportation Agency – ANTAQ (2013). Characterization of supply and demand in the inland waterways of the Amazon region passengers.
- OECD report (2015). Education at a Glance 2015: OECD Indicators. *OECD Publishing, Paris*. <http://dx.doi.org/10.1787/eag-2015-en>. Accessed in 29.08.16.
- Picek, S., Jakobovic, D., & Golub, M. (2013). On the recombination operator in the real-coded genetic algorithms, *IEEE Congress on Evolutionary Computation*, pp. 3103-3110.
- Pizzolato, N. D., Barcelos, F. B., & Lorena, L. A. (2004). School location methodology in urban areas of developing countries. *International Transactions in Operational Research*, 11(6), 667–681.
- Teixeira, J., Antunes, A., & Peeters, D. (2007). An Optimization-Based Study on the Redeployment of a Secondary School Network. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 34(2), 296-315.
- Xavier, C. M., Costa, M. G. F., & Costa Filho, C. F. F. (2016). Optimizing Universities Allocation with Integer Programming Using a New Distance Measure. In: 5th International Conference on Engineering Optimization (EngOpt), Iguassu Falls-Brazil. Proceedings of 5th EngOpt, 2016. v. 1. p. 1-10.
- Xu, R., & Wunsch, D. C. (2008). *Clustering*. IEEE Press Series on Computational Intelligence (Section 2.2: Definition of Proximity Measures).

A New Global-Local Approach to Optimize School Meals Delivery

Manoel S. L. Neto¹, Marly G. F. Costa¹, Cícero F. F. C. Filho¹

¹Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Tecnologia Eletrônica e da Informação –
Universidade Federal do Amazonas (CETELI/UFAM)
CEP 69077-000 – Manaus – AM – Brazil

{mslneto, marlygfcosta, cffcfilho}@gmail.com

Abstract. *This paper proposes a hybrid approach to solve the capacitated vehicle routing problem with time window constraints (CVRPTW). In order to evaluate such approach, we propose a case study with the primary goal of defining the delivery routes of school meals in the public school system of Manaus city (Amazonas - Brazil). The optimized solution minimizes the traveled distance of the delivery vehicle and takes into account the capacity and time window time constrains. The approach present in this paper is classified as global-local. On one hand, the metaheuristic simulated annealing, using the swap operator, is applied in the global search. On the other hand, A* search algorithm is applied in the local search, in order to refine all solutions presented by the global search. Importantly, the main difference between such approach and the remaining ones present in the literature is that all solutions from the global search are optimized in the local search. The experimental evaluation compares the results with another approach, which will be presented throughout the paper, by means of computation time and total traveled distance.*

1. Introduction

The Municipal Department of Education of Manaus city (SEMED) presents a high logistic cost for school meal delivery. Such problem worsened in March 4th, 2013, when the city hall established a Child Care Food Program with SEMED, which provides an increase number of meals for the students during the day. In the past, each student had only one meal per day. At present, the program provides each child with up to seven meals per day, which would depend on the educational mode.

This delivery system plays an important role in the logistic planning, once involves the acquisition and maintenance of a fleet of vehicles, besides fuel costs. It is absolutely essential that customer demand can be efficiently met in order to reduce this cost. Recognizing the important role played by the transport sector, Dantzig and Ramser, in 1959, introduced the Vehicle Routing Problem (VRP), which contributed to reduce the logistics costs for companies and the society.

According to Dantzig and Ramser (1959) the problem fits properly in the area of combinatorial optimization and it can be expressed using the following terms: a set of dispersed customers, a centralized depot, and a vehicle fleet that picks up items from that depot and delivery it to customers. Thus, it is necessary to determine a route plan in order to minimize the total transport cost, or the total traveled distance. However, due to its multiple variables and the huge number of possibilities of combining them, such problem

is considered as NP-Hard, non-deterministic polynomial-time hard problem. Therefore, there is no polynomial time algorithm to find optimal solutions.

This research is based on an urban area from Amazônia, the city of Manaus. In 2015, the population of Manaus was 2,057,709 inhabitants that classified it as the seventh most populous city in Brazil. According to Brazilian Institute of Geography and Statistics (2015), 99.49% of its inhabitants live in urban areas and 0.51% in rural areas.

In 2015, Brazilian Institute of Geography and Statistics (2015) showed that most of the population was in the north and east side of the city, where *Cidade Nova* is the most populous neighborhood with 121,135 inhabitants. Therefore, this research is based on the eastern and northern zones of Manaus city, once they have the highest concentration of people. These zones form a region named as the region IV.

Marques et al. (2013) presented the first work focused on routing of school meal delivery for the public educational system of Manaus city, treating the problem as a Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP). In order to obtain a solution, Marques et al. used a Geographic Information Systems (GIS) tool. At the time the work was done, the routes used to distribute the meals were empirically determined, and the driver was responsible for defining the best route. Particularly, the work was organized in three stages. Firstly, a database was structured; secondly, the authors employed a group analysis using the nearest neighbor technique; and finally, the routing was performed with the Network Analyst tool.

The purpose of this work is the development of a new methodology for optimizing the routes of a school meal delivery system in the aforementioned region IV. The main feature presented in this work is the association, in the optimization process, of a global search and a local search, in order to solve a capacitated vehicle routing problem with time window (CVRPTW).

In the simulated annealing method, a global search using a swap operator generates solutions formed by a sequence of nodes of interest. Particularly, similar to Pop and Chira (2014), we name such solutions as global routes. In the sequence, clusters are then formed, taking into account the constraints of time window and of vehicle capacity (whichever occurs first). The clusterization process uses the Euclidian distance between nodes of the global routes. Then, a local search using the A* search algorithm is performed within each cluster, in order to determine the real path between two schools. Indeed, local searches are performed on all the solutions presented by the global search. In the local search, we calculate the distance between the nodes taking into account the real distance between streets in a map, rather than Euclidean distance between nodes. In this phase, the clusters composition can change, because the real distances are higher than the Euclidian distances employed in the clusterization process.

In the literature, similar works also use simulated annealing [Lin et al., 2006, Lin et al., 2006a, Sakakibara et al., 2010] to solve the VRP problem, but, differently from the work presented here, they do not associate a local search for every global search.

This paper is organized as follows. Section 2 shows the data used and how it was obtained. Section 3 presents the problem of routing vehicles with time window. Section 4 explains the operation of the Simulated Annealing (SA) and of the A* search algorithm. Section 5 shows how the new global-local approach has been modeled. Section 6 shows how the comparative method has been modeled. Section 7 presents the results obtained by the new

approach and a comparison with the comparative method. Finally, section 8 presents conclusions and contributions.

2. Data

The Municipal Department of Education of Manaus city (SEMED), provided the data used in this work. Importantly, this database comprises information related to logistic data of the schools that belong to region IV and contains geo-referenced data of Manaus city. The database expresses all coordinates in the Universal Transverse Mercator (UTM) coordinate system. In addition, we vectorize region IV, so that all 4,100-connection points between streets (secondary nodes) are marked. We insert the locations of the depot center and of the schools as new nodes (interest nodes). Furthermore, we catalogue all the 6,144 streets by name, location of the beginning and end, and size (*i.e.*, the distance between its beginning and end). Figure 1(a) shows a map of the city of Manaus, highlighting this region, while Figure 1(b) shows the geo-referenced data.

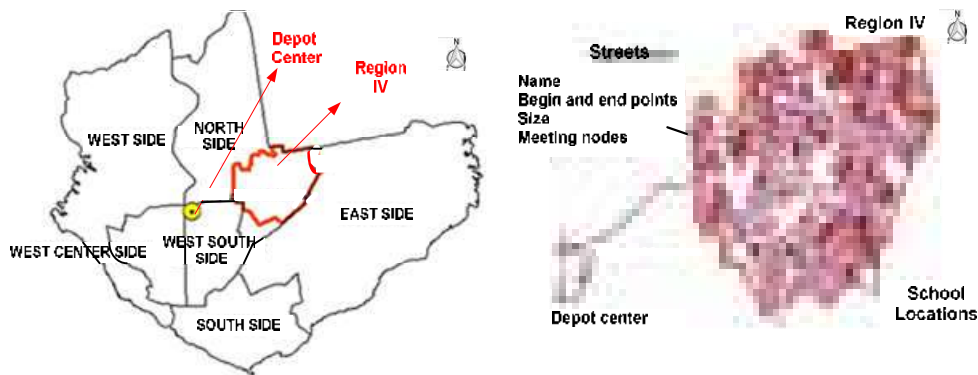


Figure 1: (a) Map of the city of Manaus showing Region IV, which is the focus of this research; (b) Georeferenced data of region IV

Meals are scheduled to be delivered between 8:00 a.m. until 5:30 p.m. The data from 53 schools is composed by: school name, modality, shifts, student capacity, and menus. Importantly, all data was collected directly from the logistics department of SEMED. The delivery vehicle for non-perishable foodstuffs is a truck (Tare: 6,590 kg | Net: 8,900 kg | Total gross: 14,990 kg), which has a maximum permissible speed, in urban areas, of 60 km/h.

3. Problem Description of the Capacitated Clustered Vehicle Routing Problem with Time Window

A graph $G = (E, A)$, where $E = \{0, \dots, n\}$ correspond to a set of vertices, defines a CCVRPTW. Traditionally, the number zero (0) represents the depot and the remaining ones, the served schools. Importantly, all routes start and finish at the depot, E_0 . In addition, $A = \{(i, j) | i \in E, j \in E, i \neq j\}$ corresponds to a set of bows. In this context, the cost c_{ij} (distance between two vertices i and j) and the traveled time t_{ij} are associated to a respective bow $(i, j) \in A$. The symbol t_{ij} represents the traveled time from school i to school j , and includes the service time at school i . A set of identical vehicles is identified by $V = \{1, \dots, k\}$, where each vehicle has a capacity Q . Furthermore, each school $i \in E$ has

a certain demand d_i and, particularly, the depot demand d_0 is null. The vehicles must return to the depot during the time window $[a_0, b_0]$. In the problem just solved in this paper, $a_0 = 8:00 \text{ am}$ and $b_0 = 5:30 \text{ pm}$.

The model presented here has two decision variables. The former, X_{ij}^k which is defined to $\forall(i, j) \in E, \forall k \in V$, is equal to 1 if a vehicle k follows the path from school i to j , or 0 otherwise. The latter, S_i^k , defined by $\forall i \in E, \forall k \in V$, represents the time that vehicle k takes to reach the school i . If a certain vehicle k does not perform any service in school i , then S_i^k is equal to zero. The sum of all demands d_i from all schools served by a certain vehicle must be smaller than the respective vehicle capacity Q . The goal is to minimize the course route for each vehicle, such that all schools are served exactly once. All routes must be feasible according to the vehicles capacity and the time window $[a_0, b_0]$. One may note below a mathematical description of the problem:

Minimize

$$\sum_{k \in V} \sum_{(i,j) \in A} c_{ij} X_{ij}^k \quad (1)$$

Subject to

$$\sum_{k \in V} \sum_{j \in E} X_{ij}^k = 1, \forall i \in E \quad (2)$$

$$\sum_{i \in E} \sum_{j \in E} (d_i + d_j) X_{ij}^k \leq Q, \forall k \in V \quad (3)$$

$$\sum_{j \in E} X_{0j}^k = 1, \forall k \in V \quad (4)$$

$$\sum_{i \in E} X_{ih}^k - \sum_{j \in E} X_{hj}^k = 0, \forall h \in E, \forall k \in V \quad (5)$$

$$\sum_{i \in E} X_{i,0}^k = 1, \forall k \in V \quad (6)$$

$$X_{ij}^k (S_i^k + t_{ij} - S_j^k) \leq 0, \forall (i, j) \in A, \forall k \in V \quad (7)$$

$$a_0 + \sum_{i \in E} \sum_{j \in E} t_{ij} X_{ij}^k, \forall k \in V \leq b_0 \quad (8)$$

$$X_{ij}^k \in \{0,1\}, \forall (i, j) \in A, \forall k \in V \quad (9)$$

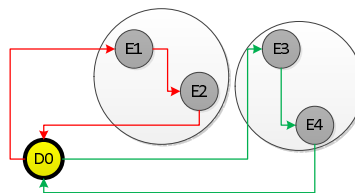
Firstly, an objective function (1) denotes the minimization of the cost. The set of constrains (2) determines that each school must be assign to a respective vehicle. The set of constrains (3) determines that any vehicle cannot attend more schools than its capacity allow it. The sets of constrains (4), (5), and (6) correspond to flow constraints. Constraint (5) states that a vehicle k that arrives at a school h must depart from that school. Constraints (4) and (6) state that each vehicle k leaves node 0 (depot) once and returns to node 0. One may note that the set of constraints (6) is redundant, because constraint (5) encompasses it, but we hold it in the model in order to close the network structure. The set of constraints (7) denotes that a vehicle k travels from i to j and, most important, it must not arrive at j before the time $S_i^k + t_{ij}$ runs out. The set of constraints (8) ensures that all vehicles respect the time window. Finally, the set of constraints (9) is a set of integrality.

4. Global-Local Method

As stated in the introduction, the proposed method comprises a global search undertaken by the SA algorithm and a local search undertaken by the A* algorithm. Concerning the SA algorithm, we first perform a global search, employing the swap operator. In the sequence, clusters are then formed, taking into account the constraints of time window and of vehicle capacity (whichever occurs first). The clusterization process uses the Euclidian distance between nodes of the global routes. Then, a local search using the A* search algorithm is performed within each cluster, in order to determine the real path between two schools of region IV shown in Figure 1. In the local search, the clusters composition can change, because the real distances between nodes of interest are higher than the Euclidian distances employed in the clusterization process. The value of the objective function of the SA algorithm is the sum of the distances of the routes calculated by the local search. In the following section, we begin clarifying the two different problem representations that the method employs. One for the global search and the other for the local one.

4.1 Solution Coding

As stated, the proposed method uses a representation containing only the nodes of interests for generating neighbors in the SA algorithm and, for calculation of the objective function, employs other structure that incorporates the nodes that represent the intersections between the streets along the path from one school to another. For a better understanding, one can analyze the example shown in Figure 2, where D represents the depot node, E represents a school node, and N are nodes that represent crosses between streets. Each route start and finishes in the depot. Figure 2(a) shows two routes that start in the depot: route 1 is the following sequence of nodes D0-E1-E2-D0 and route 2, D0-E3-E4-D0. In this paper, we name these routes as global routes. Figure 2(b) shows the same two routes of Figure 2(a), now including the crossing nodes (N), that corresponds to the intersections of streets located in the path between two schools. Therefore, the local search route 1 is now represented by the following sequence of nodes D0-N2-N2-N1-N1-N2-N3-N4-E2-N19-N20-D0 and route 2 by D0-N22-N12-N21-N13-E3-N8-N9-N10-E4-N23-N24-N25-N26-N27-D0. This second way of route representation is used in the local search, by the A* algorithm, for finding the best way between two schools. In this paper, we name these routes as local routes.



global routes:
[D0,E1,E2,D0,E3,E4,D0]

(a)

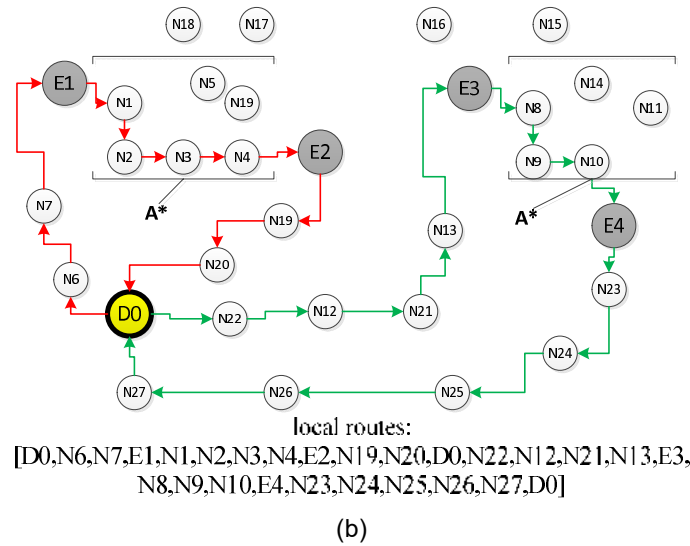


Figure 2. Problem representation (a) representation used for neighbor generation in the SA algorithm - global search; (b) representation used in the local search for finding the best way between two schools and for calculating the objective function of the SA algorithm.

4.2 Simulated Annealing Algorithm

Figure 3 shows the block diagram for the SA algorithm proposed to solve the CVRPTW problem. This SA algorithm is an adaptation of the original SA algorithm, and presents the following characteristics:

1. The first solution is random generated.
2. The SA algorithm comprises a global and a local search. For the neighbor generation step of the SA algorithm, we perform a global search, using the global route representation described earlier. For each global solution, local searches generate best paths between nodes of interests, using the local route representations described earlier.
3. The route (clusters) definitions happens through the time window or the limit of vehicle capacity, whichever occurs first.

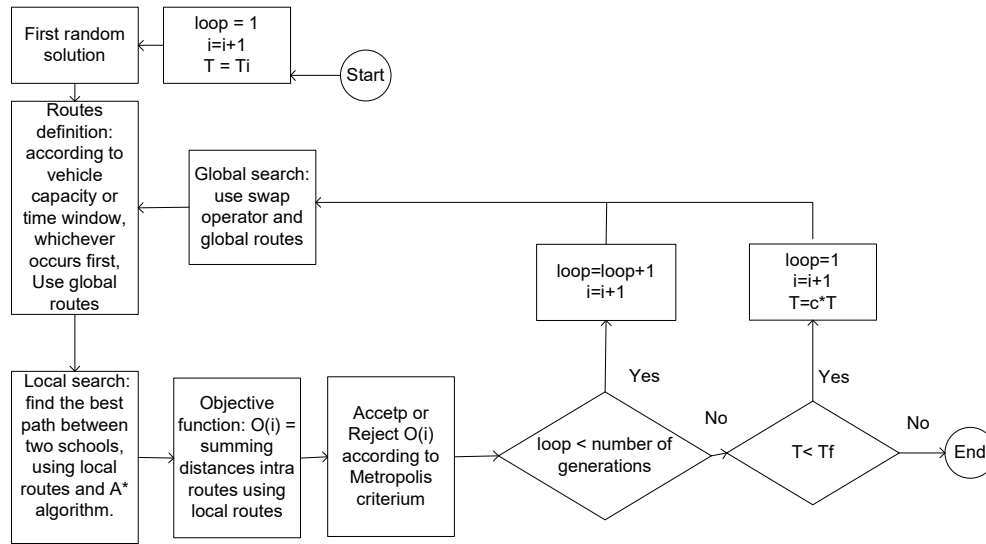


Figure 3: Block diagram of SA algorithm used in the global-local method

In order to perform the simulations, we use an Intel Core i7 with 3.60 GHz and 16 GB of RAM, operating under the Microsoft Windows 8 platform. In addition, the program that simulates the planning of the delivery routes uses Python language.

4.3 Objective function calculation

The sum of intra-cluster distances, using local routes, results in the value of the objective function of the SA algorithm. For the local routes, given in section 4.1, we calculate the objective function according to the expressions (10), (11) and (12).

$$f_{route1} = D_{D0 \rightarrow N6} + D_{N6 \rightarrow N7} + D_{N7 \rightarrow E1} + D_{E1 \rightarrow N1} + D_{N1 \rightarrow N2} + D_{N2 \rightarrow N3} + D_{N3 \rightarrow N4} + D_{N4 \rightarrow E2} + D_{E2 \rightarrow N19} + D_{N19 \rightarrow N20} + D_{N20 \rightarrow D0} \quad (10)$$

$$f_{route2} = D_{D0 \rightarrow N22} + D_{N22 \rightarrow N12} + D_{N12 \rightarrow N21} + D_{N21 \rightarrow N13} + D_{N13 \rightarrow E3} + D_{E3 \rightarrow N8} + D_{N8 \rightarrow N9} + D_{N9 \rightarrow N10} + D_{N10 \rightarrow E4} + D_{E4 \rightarrow N23} + D_{N23 \rightarrow N24} + D_{N24 \rightarrow N25} + D_{N25 \rightarrow N26} + D_{N26 \rightarrow N27} + D_{N27 \rightarrow D0} \quad (11)$$

$$f_{objective} = f_{route1} + f_{route2} \quad (12)$$

Where: $D_{A \rightarrow B}$ – Euclidean distance between nodes A and B of a local route.

5. Comparative Method

The new global-local method proposed in this paper, which was presented in section 4, will be compared with another similar approach, shown in Figure 4.

In Figure 4 we show a block diagram of the SA algorithm used in the comparison method. This is a simpler method. The local search is employed only once, after the finishing of the internal and external loops. Different from the SA algorithm shown in Figure 3, the objective function is calculated using distances among nodes of global routes. Considering the global routes shown in the example of Figure 2(a), the objective function is calculated as shown in equations (13), (14) and (15).

$$f_{route1} = D_{D0 \rightarrow E1} + D_{E1 \rightarrow E2} + D_{E2 \rightarrow D0} \tag{13}$$

$$f_{route2} = D_{D0 \rightarrow E3} + D_{E3 \rightarrow E4} + D_{E4 \rightarrow D0} \tag{14}$$

$$f_{objective} = f_{route1} + f_{route2} \tag{15}$$

Where: $D_{A \rightarrow B}$ – Euclidean distance between nodes A and B of a global route.

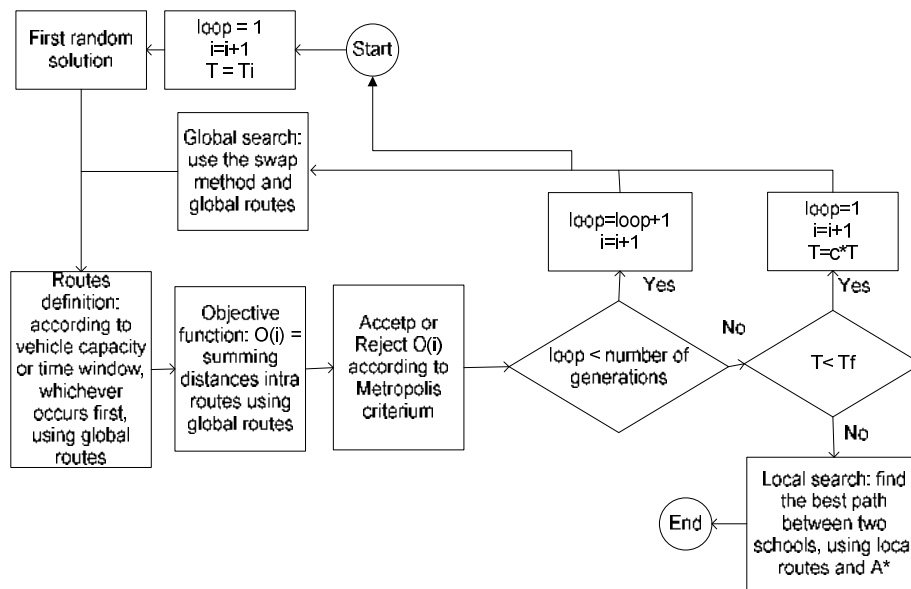


Figure 1. Comparative method

7. Results

In this section, we show the results obtained with the new global-local approach and the ones obtained with the comparative method. For the SA method, we evaluate the following initial temperatures: 200, 160, 120, and 80. In addition, we evaluate the following number of generations: 5, 10, 15, and 20. Table 1 shows the obtained results.

Table 1. Results obtained for the new global-local approach and for the comparative method.

Initial Temperature	Number of generations	Proposed method		Comparative method	
		Simulation time	Route distance	Simulation time	Route distance
200	5	146,144.27	598,217.06	725.11	776,691.89
	10	295,288.63	683,311.61	727.58	753,407.85
	15	443,324.98	661,031.25	698.08	724,726.97
	20	581,757.03	621,775.61	660.21	741,270.23
160	5	132,273.83	711,489.18	1,255.69	858,179.35
	10	268,664.75	667,890.99	885.25	803,470.34
	15	387,218.38	694,707.58	972.84	740,822.64
	20	542,059.34	598,217.06	556.80	742,836.33
120	5	123,674.5	661,031.25	974.00	795,632.89
	10	255,368.82	657,726.42	675.95	712,833.53
	15	373,032.78	517,095.67	774.00	750,340.77
	20	498,744.89	635,974.22	1,095.80	821,936.42
80	5	112,444.99	598,217.06	1,037.86	711,489.18
	10	242,663.73	621,775.61	827.03	850,038.30
	15	341,334.55	694,707.58	1,114.15	840,878.93
	20	442,322.66	618,316.45	669.05	667,890.99

Table 1 shows that the proposed method presents higher simulation times than the comparative method. We believe that the main reason is that, in the comparative method, we employ the A* local search only once, after the end of the global search. In the proposed method, nevertheless, it is employed a number of times equal to the product between the number of generations in each temperature, the number of temperature values used in the simulated annealing cooling process and the number of clusters on each generation solution. For the route distance, nevertheless, the proposed method presents lower values than the comparative method. The main reasons for this behavior are the following: in the proposed method, we employ the local search for every interaction of the global search; in the proposed method, we calculate the objective function using the street distance, while in the global search of the comparative method, we calculate the objective function employing the Euclidean distance. The lower route distance found in the proposed method was 517,095.67 meters, while, in the comparative method, was 667,890.99 meters.

Conclusions

The work presented in this paper proposes a new global-local approach to the resolution of the vehicle routing problem. This new approach was possible through the application of the simulated annealing metaheuristics, which is the same used in [Lin et al., 2006], [Lin et al., 2006a], and, [Sakakibara et al., 2010]. In addition, we employ the SA method to perform a global search using a swap operator. This neighborhood operator has previously been used in similar works, such as [Lin et al., 2006], [Mine et al., 2010], [Sakakibara et al., 2010], and [He et al., 2014]. Thereafter each global solution is found, the algorithm performs a division of the routes, based on the limitations of time and vehicle capacity. Then, within each route, a local search is performed by A* search

algorithm. We carry on the calculation of the objective function using the real distance between streets in a map. Furthermore, the application of an exact algorithm using the distance between streets would be impracticable, due to the simulation times obtained.

We apply this new global-local approach to a case study of the Municipal Department of Education of Manaus city, more specifically in IV region, located between the north and east regions of Manaus, with 53 schools. The importance of such work can be gauged by the fact that, nowadays, in Manaus city, the local Department of Education is responsible for the delivery of school meals for more than 220,000 students in 500 schools. A decrease in the delivery time of these meals will have a huge impact on logistics costs.

As future work, we plan apply other methods to generate neighbors, whereas the swap method, as a random method, often initiate with schools far away from the depot. Furthermore, in order to reduce computational time, we plan to improve the response of the A* search algorithm.

References

- Assis, L. P., Maravilha, A. L., Vivas, A., Campelo, F. and Ramirez, J. A. (2013) “Multi-objective vehicle routing problem with fixed delivery and optional collections”, *Optimization Letters*, v. 7, n. 7, p. 1419-1431.
- Dantzig, G. B. and Ramser, J. H. (1959), “The Truck Dispatching Problem”, *Management Science*, v. 6, n. 1, p. 80-91.
- Fanggeng, Z., Dong, M., Jiangsheng, S. and Weimin, L. (2009) “A hybrid genetic algorithm for the vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery”, *Chinese Control and Decision Conference*, p.3928-3933.
- Guan, C. H., Cao, Y. and Shi, J. (2010) “Tabu Search Algorithm for Solving the Vehicle Routing Problem”, *Third International Symposium on Information Processing*, p.74-77.
- Hai, S., Yunlong, Z., Li, J. and Wenping, Z. (2010) “Two-phase heuristic for Capacitated Vehicle Routing Problem”, *Second World Congress on Nature and Biologically Inspired Computing (NaBIC)*, p.534-539.
- He, Y., Miao, W., Xie, R. and Shi, Y. (2014) “A tabu search algorithm with variable cluster grouping for multi-depot vehicle routing problem”, *Proceedings of the 2014 IEEE 18th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design (CSCWD)*, p.12-17.
- Brazilian Institute of Geography and Statistics – IBGE (2015) “Arranjos Populacionais e Concentrações Urbanas do Brasil”, *Geociências, D. D. e Geografia, C. D.*, Rio de Janeiro.
- Lin, S. W., Ying, K. C., Lee, Z. J. and Chen, H. S. (2006) “Vehicle Routing Problems with Time Windows Using Simulated Annealing”, *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, p.645-650.
- Lin, S. W., Ying, K. C., Lee, Z. J. and Hsi, F. H. (2006) “Applying Simulated Annealing Approach for Capacitated Vehicle Routing Problems”, *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, p.639-644.

- Marques, D. D. S., Araújo, C. S. D. and Rodrigues, H. F. (2013) “Roteirização do transporte da merenda escolar das escolas municipais urbanas de Manaus usando SIG”, XX Simpósio de Engenharia de Produção - SIMPEP, Bauru, SP.
- Mine, M. T., Silva, M. S. A., Ochi, L. S., Souza, M. J. F. and Silva, T. C. B. (2010) “O problema de roteamento de veículos com coleta e entrega simultânea: uma abordagem via Iterated Local Search e GENIUS”, Transportes, v. XVIII, n. 3, p. 60-71.
- Pop, P. and Chira, C. (2014) “A hybrid approach based on genetic algorithms for solving the Clustered Vehicle Routing Problem”, IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC), p.1421-1426.
- Russell, S. J. and Norving, P. (2003) “Artificial intelligence: a modern approach”, 2th edition.
- Sakakibara, K., Tsuda, T. and Nishikawa, I. (2010) “Simulated annealing method based on recursive problem decomposition for vehicle routing problems”, SICE Annual Conference, p.1016-1020.

EstGeoMag: Integrando soluções de Hardware, Software e Internet das Coisas na medição de grandezas Geomagnéticas

**Fábio Franco de Oliveira¹, Rodolfo da Silva Villaça¹, Celso Alberto Saibel Santos¹
Roberto Colistete Junior²,**

¹Programa de Pós Graduação em Informática (PPGI)
Universidade Federal do Espírito Santo (UFES)
Vitória – ES – Brasil

²Departamento de Química e Física
Universidade Federal do Espírito Santo (UFES)
Alegre – ES – Brasil

fabiotti6@gmail.com, rodolfo.villaca@ufes.br, saibel@inf.ufes.br,
roberto.colistete@ufes.br

Abstract. *This paper presents EstGeoMag, a low cost hardware and software solution, based on concepts found in the Internet of Things, whose main objective is to help obtain geomagnetic quantities with high resolution and precision. In addition to detailing the hardware and software architecture and to evaluate the precision and accuracy of measurements, 105h of the equipment's use were used for the monitoring in the city of Venda Nova do Imigrante, in the state of Espírito Santo, Brazil. The results of these measurements were compared with different high precision commercial magnetometers models used by INPE.*

Resumo. *Este artigo apresenta o EstGeoMag, uma solução de hardware e software de baixo custo, baseado em conceitos presentes na Internet das Coisas, e que tem como objetivo principal auxiliar a obtenção de grandezas geomagnéticas com alta resolução e precisão. Além do detalhamento da arquitetura em hardware e software, para a avaliação da precisão e acurácia das medidas foram monitoradas 105h de uso do equipamento na cidade de Venda Nova do Imigrante, interior do estado do Espírito Santo. Os resultados dessas medições foram comparados com diferentes modelos de magnetômetros comerciais de alta precisão usados pelo INPE.*

1. Introdução

O campo magnético ao redor do planeta Terra é gerado pelo efeito de seu núcleo, composto por metal em forma líquida e temperaturas na ordem de 6000°C. Este campo que se estende por milhares de quilômetros acima da atmosfera é denominado Magnetosfera Terrestre. Ao redor deste campo, nosso planeta é exposto à radiação solar conhecida como “ventos solares”. Estes, por sua vez, de acordo com o seu grau de intensidade, podem provocar fenômenos conhecidos como “tempestades solares”, que podem causar desde oscilações de tensão em linhas de transmissão de energia elétrica até interferências na comunicação de dados via satélite.

Para o estudo e monitoramento das grandezas físicas relacionadas a estes fenômenos, além do estudo de diferentes tipos de formações rochosas e minerais magnéticos, geólogos e estudantes de geologia de escolas e universidades ao redor do mundo utilizam equipamentos chamados magnetômetros.

Existem diversos tipos de magnetômetros. Eles podem ser construídos a partir de diferentes sensores e tecnologias de acordo com o grau de resolução, precisão e acurácia pretendidos nas medidas. Dentre estes, podem ser destacados (CAMPBELL, 2003): (i) os magnetos-resistivos, de baixo custo e com menor grau de precisão, muito usados em smartphones e tablets; (ii) os de precessão de prótons, mais precisos, porém com maiores custos de manutenção e complexidade na sua utilização e (iii) SQUID, com alto nível de precisão, porém de aquisição e construção restritos devido à alta complexidade de sua operação e custo elevado. Existe ainda um quarto tipo de Magnetômetro que possui um bom nível de precisão e custo mais acessível: o do tipo Fluxgate (CAMPBELL, 2003). Este modelo é usado frequentemente no meio acadêmico e em equipamentos comerciais devido à relativa facilidade de produção em larga escala, custo mais acessível e ótimo nível de precisão para a maioria das aplicações (WANG, 2015).

Um problema em comum entre estes equipamentos, no entanto, é que a implementação de sua arquitetura, tanto de hardware quanto de software, frequentemente é fechada, proprietária, dependente do fabricante. Este fato termina aumentando em demasia o seu custo, sobretudo quando altos níveis de precisão e baixo ruído de medição são requeridos. Como é típico também no cenário acadêmico, há também uma grande dificuldade na integração de soluções computacionais para processamento dos dados de medição devido ao fato de que os fabricantes não compartilham entre si detalhes de sua arquitetura e as ferramentas de aquisição de dados também serem proprietárias e específicas de cada equipamento.

Oliveira et al. (2016) apresentaram um protótipo de uma estação de medição geomagnética, com uso de um único sensor Fluxgate. A arquitetura apresentada é aderente ao modelo de Internet das Coisas. Em sua avaliação, foi verificado que com a funcionalidade de interface Web e o compartilhamento de dados abertos entre os usuários da estação proposta, a plataforma tinha um grande potencial para a aprendizagem de estudantes dos cursos de Geologia e Física.

No trabalho atual, apresentamos a implementação de uma estação geomagnética completa, de alta resolução e precisão nas leituras das variações do campo geomagnético da Terra, com a leitura de três componentes magnéticas (norte-sul, leste-oeste e vertical) e uso de três sensores Fluxgate. Além disso, a estação, denominada EstGeoMag, possui dois sensores de temperatura para auxílio no monitoramento do ambiente durante a etapa de calibração das medições e uso de GPS para aquisição de informações sobre a localização exata do equipamento no instante das medidas. Com o baixo nível de ruído obtido na sua construção, o EstGeoMag torna-se equiparável aos magnetômetros comerciais de maior custo em uso por organizações privadas ou órgãos públicos, tais como o Instituto Nacional de Pesquisa Espacial (INPE), conforme será mostrado nas seções finais do artigo.

Além da arquitetura aberta de implementação, o EstGeoMag apresenta alguns outros diferenciais: (i) a ideia de computação pervasiva, embarcada com soluções de hardware e software, que auxiliam o usuário desde a calibração e instalação do equipamento, com a análise em tempo real dos dados medidos e o cálculo do magnetismo esperado no local, baseando-se nos modelos teóricos WMM¹ (World Magnetic Models) e IGRF² (International Geomagnetic Reference Field); (ii) o processamento dos dados das medições, com o cálculo de médias móveis (SMITH, 1997) e (iii) a disponibilização dos dados na interface Web. Essa interface, por sua vez, contém recursos importantes, tais como o gerenciamento do equipamento à distância, a exportação de dados em formato aberto e a visualização das médias das leituras dos sensores por intermédio de gráficos.

Além do detalhamento da arquitetura de hardware e software do EstGeoMag, para a avaliação da precisão e acurácia das medidas, o equipamento foi utilizado por um total de 105 horas na cidade de Venda Nova do Imigrante, no interior do Espírito Santo. Os resultados obtidos foram compatíveis com diferentes magnetômetros comerciais de alta precisão situados em outros estados do território brasileiro.

O restante deste artigo está dividido da seguinte forma: Na Seção 2, serão apresentados e discutidos alguns trabalhos relacionados. Na Seção 3, será apresentada a arquitetura, as características e os desafios encontrados na implementação do EstGeoMag. Na Seção 4, será detalhada a avaliação do EstGeoMag e comparação dos resultados com outros equipamentos comerciais. A Seção 5, conclui o artigo e faz indicações de trabalhos futuros.

2. Trabalhos Relacionados

Com o avanço e popularização dos chamados “Computadores de Placa Única” (SBC, ou *Single Board Computers*), novas soluções integrando hardware e software para fins de coleta de dados de sensores em diferentes áreas do conhecimento, tais como SmartGrids, agricultura e estudos de geologia e geofísica, têm surgido.

Silva Junior (2015) desenvolveu um magnetômetro do tipo Fluxgate com alta sensibilidade para medir campos magnéticos de baixa intensidade. Com o uso de dois

1 <https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/WMM>

2 <https://www.ngdc.noaa.gov/IAGA/vmod/igrf.html>

sensores para as componentes magnéticas, o equipamento faz uso de um computador de mesa com o software LabView³ para a coleta de dados e de software feito em linguagem Java para a visualização e processamento dos dados. No EstGeoMag, são utilizados 3 sensores para as componentes do campo magnético terrestre e é utilizado software aberto para aquisição dos dados.

Beggan e Marple (2016) propuseram um magnetômetro de baixo custo que usa um SBC, para a coleta e processamento de dados de três sensores do tipo Fluxgate com uso de um ADC (*Analog-Digital Converter*) de 17 bits. No projeto, foram efetuadas medidas a cada 5s e cálculo de médias móveis a cada 10min. Foi mantido, também, um termômetro externo ao projeto para monitoramento do ambiente e viabilizar a correção dos dados em uma etapa de pós-processamento. Por sua vez, após serem processados os dados são enviados via protocolo RSYNC ou *upload* para um servidor Web.

Um diferencial de nosso trabalho foi a realização de uma análise de três diferentes tipos de conversores ADC na arquitetura, de acordo com a necessidade de custo *versus* precisão do usuário da plataforma.

Como nos outros trabalhos encontrados na literatura há sempre a dependência de algum computador externo, seja para o processamento, seja para a disponibilização e acesso aos dados, um diferencial da arquitetura proposta neste artigo é a sua aderência ao modelo de Internet das Coisas. A arquitetura inclui um servidor Web em execução no SBC, oferecendo o acesso remoto aos dados coletados pelo magnetômetro. Além dos dados poderem ser disponibilizados rapidamente na Internet, sem a necessidade de infraestrutura pré-existente, há a possibilidade de uso *offline*, por meio da rede local sem fio, com acesso direto à interface Web via navegador Web a partir dos computadores e celulares.

3. Arquitetura de Hardware e Software

3.1. Hardware

A arquitetura de hardware do EstGeoMag é composta pelos módulos representados pela unidades tracejadas na Figura 1. As descrições dos módulos e das suas funcionalidades são as seguintes:

- Unidade 1 - Coleta de Dados: responsável pela coleta dos dados, cujas funções são desempenhadas pelos sensores FluxGate, que são alimentados por um Regulador de Tensão e monitorados por um Sensor de temperatura
- Unidade 2 - Processamento dos Dados: responsável pelo processamento dos dados, cujas funções são desempenhadas pelo Computador de Placa Única com o auxílio de um RTC (*Real Time Clock*), GPS e um ADC, sendo este último alimentado por outro Regulador de Tensão e também monitorado por mais um sensor de temperatura.

3 <http://www.ni.com/labview/pt>

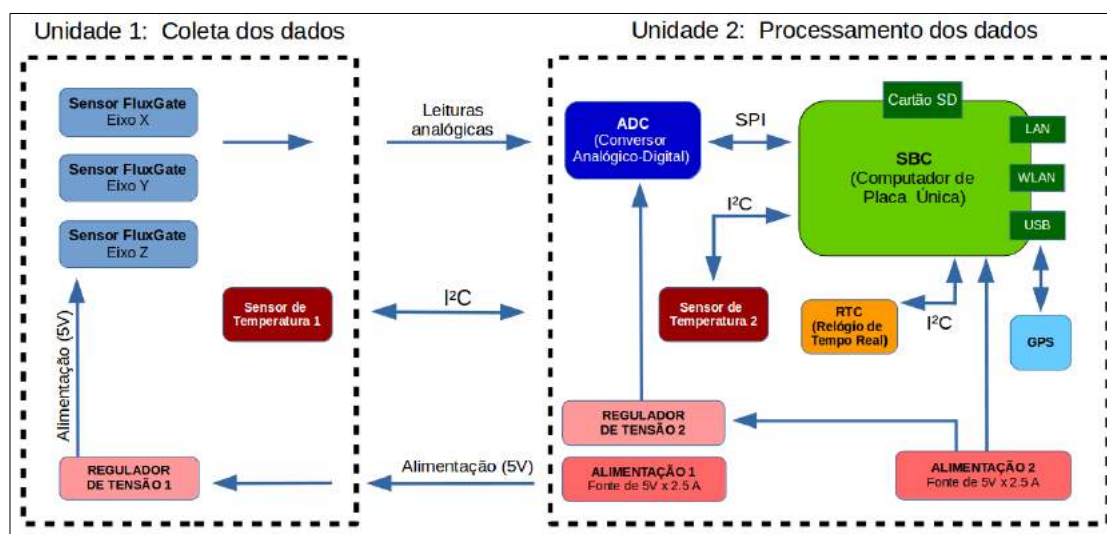


Figura 1: Arquitetura do EstGeoMag

No projeto do EstGeoMag são usados 3 sensores magnéticos do tipo FluxGate para acompanhamento das variações do campo magnético terrestre em três eixos: Norte-Sul, Leste-Oeste e Vertical. Essas variações são associadas a um sinal elétrico gerado nos sensores, medido em Volts e proporcional ao campo magnético medido. Este sinal, de representação analógica, é lido por um ADC responsável pela quantização e digitalização dos valores lidos. O ADC então entrega os dados, por intermédio de um barramento SPI (*Serial Peripheral Interface*), para o Computador de Placa Única que executa um sistema operacional embarcado de código-fonte aberto. Os sensores de temperatura são conectados por meio de um barramento I²C (Circuito Inter-Integrado) e possuem a função de monitorar variações de temperatura nos sensores FluxGate e no ADC no momento da leitura e conversão.

Apesar da curva de transferência da variação do campo magnético em Volts do sensor FluxGate utilizado ser linear, ela é afetada pela temperatura, que também afeta a resposta do regulador de tensão usado em sua alimentação. De maneira similar, também há influência da temperatura do local onde é feita a conversão AD das medidas realizadas pelo ADC. Por este motivo, a medição de temperatura é necessária para que seja possível compensar a variação (*drift*) de temperatura nos componentes mais sensíveis do circuito. Desta forma, para aumentar a precisão e acurácia da medição são usados dois sensores de temperatura: um na unidade de coleta, para monitorar o ambiente dos sensores de magnetismo, e outro na unidade de processamento para monitorar o ambiente no momento da conversão AD.

Duas fontes independentes de 5V foram utilizadas no projeto para assegurar uma mínima variação na estabilização da alimentação de energia do EstGeoMag. Considerando que a carga de consumo gerada pelo Computador de Placa Única oscila de maneira significativa. Esta oscilação poderia influenciar na leitura dos sensores de magnetismo em função do fato de que os valores de tensão gerados devido o campo magnético são obtidos de forma relativa à tensão de alimentação dos sensores. Desta forma, se a alimentação dos sensores variar, o resultado da conversão ADC também vai variar de modo proporcional, reduzindo a precisão e a acurácia das medições do EstGeoMag.

Para não haver aumento de temperatura e nem possíveis interferências (ruídos) causados pela própria fonte que alimenta a unidade de coleta de dados, ela é mantida no mesmo involucro da unidade de processamento dos dados e reguladores de tensão foram adicionados em duas placas de circuito impresso personalizadas para complementar o papel de regulação das fontes. Para assegurar precisão no registro do instante exato (data e hora) das medições, é usado também um módulo de Relógio de Tempo Real (RTC), regulado por cristal de quartzo, com compensação de variação de temperatura e alimentação por bateria externa, fazendo com que o sistema mantenha seu horário sempre apurado mesmo em caso de interrupções na alimentação do equipamento.

Complementando o conjunto, foi incluso um módulo de GPS USB de baixo custo para registro das coordenadas do local de instalação do magnetômetro. Os principais componentes utilizados na implementação do EstGeoMag são detalhados na Tabela 1:

Tabela 1. Componentes principais do EstGeoMag

Sensor de magnetismo FLC-100	Fabricante: Stefan Mayer Instruments Tipo de saída: tensão proporcional ao campo magnético detectado Faixa de medição: $\pm 100\mu\text{T}$ Tensão de operação: $5\text{V} \pm 5\%$ / Consumo: $\sim 2\text{mA}$ Ruído: $< 3\text{nTpp}$ (0,1 a 10Hz) Temperatura de operação: -40 a 85°C
Sensor de Temperatura MCP9808	Fabricante: Adafruit / Microchip Resolução: $0,0625^\circ\text{C}$ / Acurácia: $\pm 0,25^\circ\text{C}$ Faixa de leitura: -40°C a 125°C Alimentação: 2,7 a 5V
ADC High-Precision AD/DA Expansion Board	Fabricante: Waveshare Resolução: 8 canais de 24 Bits Referência de tensão: 2,5V Tensão de operação: 3,3 a 5V Taxa de amostragem 2,5 – 30000 amostras por segundo / Interface: SPI
Computador de Placa Única Raspberry Pi 3	Fabricante: Raspberry Foundation SoC (System on a Chip): Broadcom BCM2837 CPU/Memória: 1.2GHz 64 bits quadcore ARMv8 /1024Mb SDRAM Rede: Ethernet 10/100 / Wireless: 2.4 GHz 802.11n Alimentação: 5V com consumo de 700mA (3.5 W) Armazenamento: Micro SD

Na Figura 2 é mostrada uma foto do equipamento com detalhes para o interior das unidades de coleta e a de processamento.



Figura 2: Componentes do EstGeoMag

3.2. Software

Com relação ao software embarcado, ele é composto por um sistema operacional de código fonte aberto (Linux), um banco de dados SQL para armazenagem dos dados provenientes das medições, uma aplicação em linguagem Python para processamento das amostras obtidas pelo ADC e um servidor Web para disponibilização remota dos dados. A Figura 3 resume as entradas e saídas de dados, assim como as principais etapas de processamento realizadas pelos componentes da arquitetura de software do EstGeoMag.

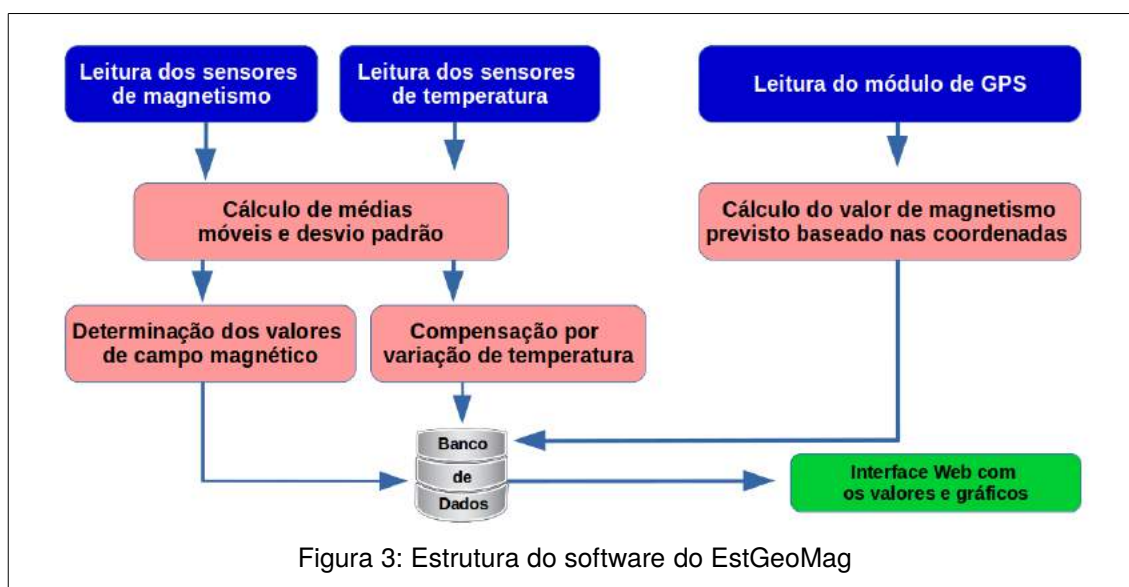


Figura 3: Estrutura do software do EstGeoMag

Conforme pode ser visto na Figura 3, após serem efetuadas as leituras de temperatura e campo magnético, e após a conversão AD dos dados lidos, um pós-processamento dos dados é realizado com a finalidade de se aumentar a precisão da conversão e eliminar ruídos aleatórios gerados por *outliers* (SMITH, 1997). Esse pós-processamento é feito com a aplicação de médias móveis a uma taxa de 18 medidas por minuto. A escolha desta taxa é justificada pela observação de que efetivamente tem-se pouca variação de amplitude no campo magnético terrestre (da ordem de 1nT, ou menor) entre durante o intervalo de 1min e cada sequencia de leitura dos canais usados no ADC levando cerca de 3,2s na configuração atual. Além disto, é calculado e registrado, em tempo real, o desvio padrão das médias das leituras.

Caso seja desejado pelo usuário, o EstGeoMag pode ser reprogramado para trabalhar com médias móveis em um intervalo maior (por exemplo, 180 elementos a cada 10min). Com isso, seria possível obter-se ainda mais precisão, mas haveria o risco de se registrar uma quantidade menor de variações legítimas (sem ruído) durante este intervalo.

A partir do registro das coordenadas de GPS, baseando-se nos modelos teóricos WMM e IGRF, é calculado o valor absoluto do campo magnético previsto para a localidade. Com isso, o pesquisador responsável pode ter uma ideia do grau de distorção entre o valor medido e o valor esperado, o que pode indicar, por exemplo, a existência de interferências geradas por campos magnéticos externos, tais como linhas de alta tensão, ou até mesmo a existência de construções ou ferragens no local pretendido para instalação do EstGeoMag.

Em seguida, a data e horário das medições, os valores de magnetismo e temperatura dos sensores, as coordenadas de altitude, latitude e longitude do GPS, e também os valores calculados pelos modelos teóricos são armazenados no banco de dados SQL em um cartão MicroSD externo de 32gb. O SGBD escolhido, o SQLite versão 3.8.7.1, possui boa versatilidade para uso como software embarcado. Além disto, todos os dados também são salvos simultaneamente no formato aberto de texto delimitado por vírgulas (CSV, ou *Comma-Separated Values*).

Após terem sido armazenados, os dados podem ser acessados por intermédio da interface Web via rede local ou Internet. Concebida com uma técnica de design Web responsivo, permite a exibição de maneira personalizada na tela de dispositivos como celulares, tablets ou laptops. Os dados e os gráficos das leituras dos sensores de temperatura e de magnetismo são atualizados automaticamente, em tempo real, e exibidos de forma contínua sem que para isso seja preciso a intervenção do usuário.

A Figura 4 ilustra um exemplo do uso da interface Web em um smartphone para monitoramento das três componentes magnéticas (norte, leste e vertical).

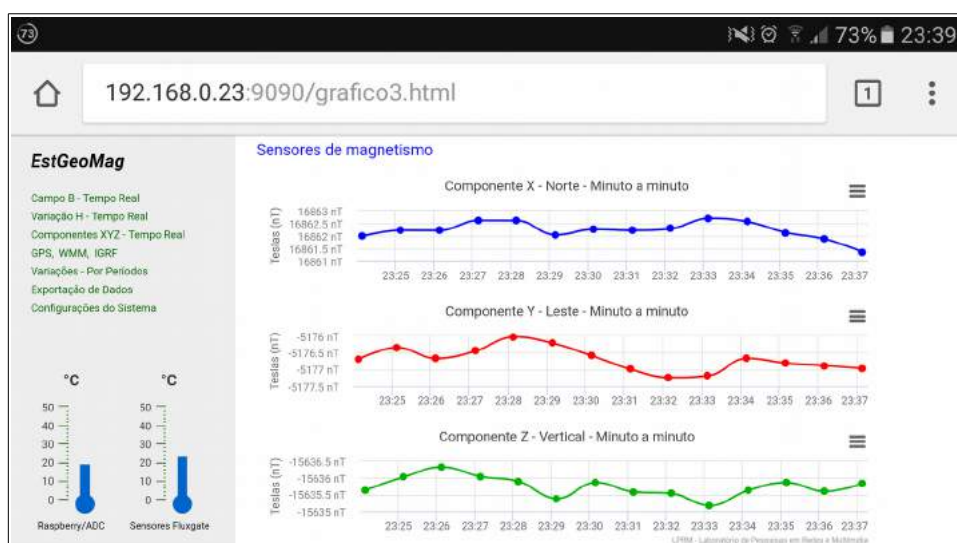


Figura 4: Interface Web em uso em um dispositivo móvel

4. Avaliação e resultados

Para a avaliação inicial do desempenho do EstGeoMag em termos das medidas de campo geomagnético obtidas, foi escolhido o modo programável de maior precisão e menor ruído no ADC de 24 bits: ganho de 1x de seu PGA (*Programmable Gain Amplifier*) e taxa de amostragem de até 2,5 amostras por segundo.

Para se obter estabilidade no processo e, principalmente, uma boa acurácia nas medições, foi imprescindível a escolha de um local apropriado para instalação do magnetômetro. A Figura 5 mostra a instalação da unidade de coleta e da unidade de processamento.



Figura 5: Instalação do equipamento

Como ambos os sensores e o regulador de tensão da unidade de coleta são altamente sensíveis às variações de temperatura, a unidade foi enterrada no solo para garantir uma maior estabilidade térmica ao longo das variações climáticas diurnas e noturnas. Para ambas as unidades, o ideal é estarem em local com sombra e distante no mínimo de 20m de qualquer objeto metálico ferromagnético, pedras ou rochas magnéticas, postes e linhas de energia elétrica ou ainda qualquer aparelho eletrônico que possa gerar algum tipo de campo eletromagnético.

A avaliação inicial do EstGeoMag foi feita a partir da comparação dos valores obtidos por ele com as medições realizadas no mesmo período por magnetômetros comerciais de alta precisão instalados nos seguintes locais:

- Petrolina, PE - mantido pelo Boston College e INPE, na rede AMBER⁴;
- Cachoeira Paulista, SP - mantido pelo INPE no programa EMBRACE⁵;

Apesar das diferenças dos valores de amplitude das medidas de campo magnético, as variações diurnas e noturnas nestes locais são muito semelhantes. De fato, para esse tipo de medida, as variações de campo observadas são, muitas vezes, bem mais importantes do que os valores absolutos do campo em si. Por exemplo, variações bruscas de campo em curtos espaços de tempo podem indicar a ocorrência de tempestades geomagnéticas.

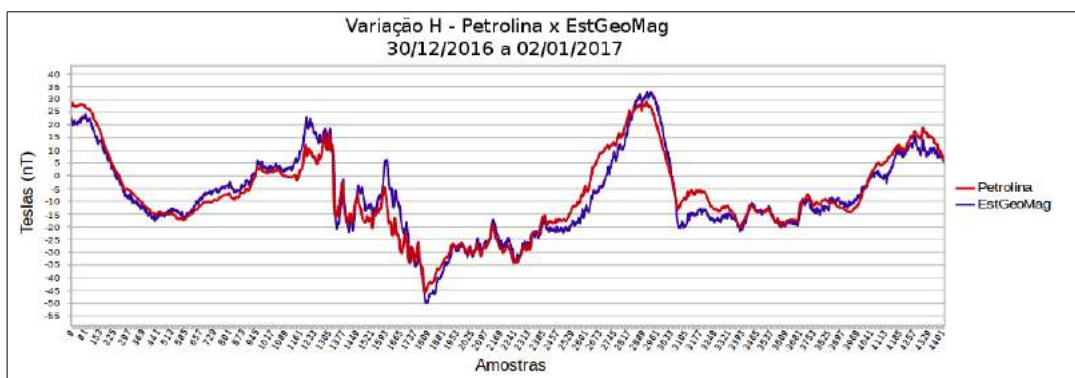


Figura 6: Comparativo entre o EstGeoMag e o magnetômetro da rede AMBER

Na Figura 6, podem ser vistos os comparativos de medidas entre o magnetômetro da Rede AMBER instalado em Petrolina – PE e o EstGeoMag instalado em Venda Nova do Imigrante – ES. O período escolhido para coleta dos resultados foi compreendido entre 30/12/2016 a 02/01/2017. Na mesma figura, é possível constatar que as poucas diferenças, nos momentos em que surgem, tendem a ser inferiores a 5nT dentre uma variação total diária média de 85nT pico a pico. O valor da diferença pode

4 <http://magnetometers.bc.edu>

5 <http://www.inpe.br/climaespacial>

ser considerado baixo, considerando que entre os fatores causadores podemos citar o clima (e, portanto, a variação por temperatura causada nas medidas no local de instalação) e as diferenças topográficas e/ou geológicas das regiões, que são distantes cerca de 1500km umas das outras.

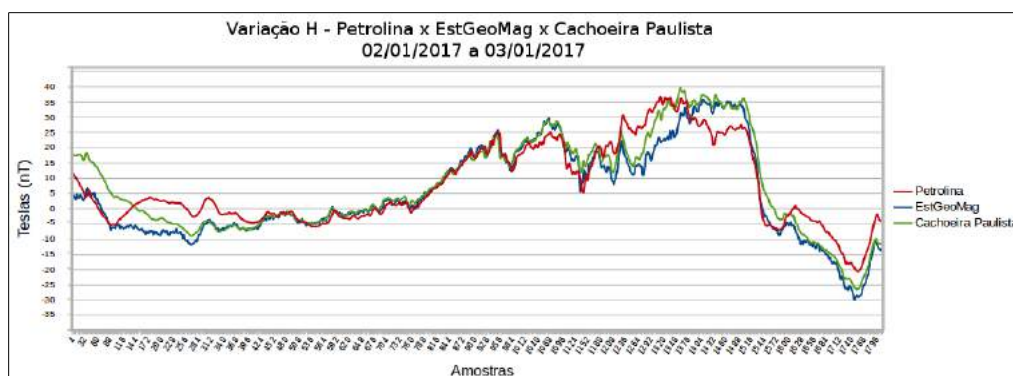


Figura 7: Comparativo entre o EstGeoMag e os magnetômetros do programa EMBRACE e da rede AMBER

A Figura 7 apresenta os comparativos entre os magnetômetros da Rede AMBER instalado em Petrolina – PE, do Programa EMBRACE instalado em Cachoeira Paulista – SP e o EstGeoMag instalado em Venda Nova do Imigrante – ES. O período escolhido para coleta dos resultados foi compreendido entre 02/01/2017 a 03/01/2017. É possível constatar que as leituras do EstGeoMag ficam bem próximas às realizadas pelos outros dois magnetômetros, em especial às do instalado em Cachoeira Paulista, situado a uma menor distância de Venda Nova do Imigrante: 600 km.

Analisando a Tabela 2, em intervalos de tempo dos dias 30/12/2016 a 01/01/2017, podemos verificar que a diferença percentual entre as médias de desvio padrão das leituras de ambos magnetômetros é pequena, o que torna o EstGeoMag comparável aos magnetômetros do INPE.

Tabela 2. Comparativo de Desvio Padrão⁶

Desvio Padrão – 30/12/16 a 01/01/17				
Magnetômetro	Data	Horário	Desvio Padrão (nT)	Diferença (%)
EstGeoMag	30/12/16	18h – 21h	5,0544	
AMBER	30/12/16	18h – 21h	5,1821	2,52775
EstGeoMag	31/12/16	12h – 15h	11,8193	3,15651
AMBER	31/12/16	12h – 15h	11,4462	
EstGeoMag	01/01/17	21h – 00h	2,7264	0,75608
AMBER	01/01/17	21h – 00h	2,7058	
Diferença média:				2,14678

6 Os horários citados na Tabela 2 foram convertidos para o fuso horário UTC (*Universal Time Coordinated*, ou Tempo Universal Coordenado). O fuso horário típico da região onde o EstGeoMag está instalado é o UTC-3, porém na data das medidas já havia começado o horário de verão no Brasil, tornando-o portanto o fuso UTC-2.

5. Conclusões

Podemos concluir que com medidas e desvio padrão equivalentes às dos magnetômetros comerciais utilizados pelo INPE, a solução de hardware e software desenvolvida e utilizada neste trabalho torna o EstGeoMag um magnetômetro adequado para acompanhamento das variações diárias do campo magnético terrestre. Sua arquitetura de hardware e software flexíveis e abertos, aliada ao uso de componentes de baixo custo permite a personalização da solução de acordo com as necessidades do usuário. O equipamento pode ser construído em larga escala para equipar escolas e universidades e auxiliar o ensino de geologia / geofísica para alunos de todo o país.

Como trabalhos futuros, podemos citar o aprimoramento do sistema de compensação por variação de temperatura, a inclusão de novos tipos de filtros lineares e não lineares para a redução de ruídos das medidas, o desenvolvimento de novas funcionalidades para a interface Web e a produção em escala da solução, visando observar as possíveis variações da precisão obtida em função dos componentes utilizados.

Agradecimentos

Este projeto teve financiamento parcial da FAPES, CAPES, CNPq e do projeto FUTEBOL (MCTIC/RNP). Gostaríamos de agradecer à equipe do INPE pelo dados obtidos e pela colaboração técnica e também ao Instituto Federal do Espírito Santo (IFES), campus Venda Nova do Imigrante, por ceder o espaço necessário para a instalação e realização dos testes do EstGeoMag.

6. Referências

- Araujo, R. B., "Computação Ubíqua: Princípios, Tecnologias e Desafios". Livro de Minicursos do XXI Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores, 2003. p 45-115.
- CAMPBELL, W. H. Measurement methods. In: Introduction to geomagnetic fields. Cambridge University Press, 2003. p. 215-229
- WANG, Jiabo; CHEN, Xi. A fluxgate magnetometer for navigation and sensing: noise character and digital filtering. In: SENSORS, 2015 IEEE. IEEE, 2015. p. 1-4.
- OLIVEIRA et al. (2016, November). Uma Estação de Medição Geomagnética de Acesso Ubíquo para Estudos de Geofísica. In: Anais dos Workshops do Congresso Brasileiro de Informática na Educação (Vol. 5, No. 1, p. 1354).
- SMITH, S. W. et al. Moving Average Filters. In: The scientist and engineer's guide to digital signal processing. 1997. p. 277-282.
- BEGGAN, C. D.; MARPLE, S. R. Space weather goes to schools. Astronomy and Geophysics, v. 57, n. 2, p. 2.24-2.26, 2016.
- SILVA JÚNIOR, J.P. Desenvolvimento de um magnetômetro fluxgate para estudos de clima espacial e aeroespacial. 2015. Dissertação de Mestrado. UFRN.

Pré-processamento e Análise de Dados de Táxis

Cristiano Martins Monteiro¹, Fábio Rocha da Silva¹, Cristina Duarte Murta¹

¹Departamento de Computação – CEFET-MG

Resumo. *O estudo de grandes quantidades de dados é um desafio atual e devemos estar preparados para tratá-las e analisá-las. Nesta tarefa, o pré-processamento é essencial para verificar os dados, identificar inconsistências, possíveis erros e incompletude. Neste trabalho, foram analisadas duas bases de dados com mais de trinta milhões de registros da movimentação de táxis nas cidades de San Francisco e Roma. Propomos um algoritmo para o tratamento das velocidades anômalas identificadas na etapa de pré-processamento destas bases. Apresentamos a análise das bases de dados antes e após a aplicação do algoritmo, mostrando sua relevância e pertinência. Os resultados evidenciam características específicas do serviço de táxi nas duas metrópoles.*

Abstract. *The study of large amounts of data is a current challenge and we must be prepared to treat and analyze them. In this task, pre-processing is essential for verifying data, identifying inconsistencies, possible errors and incompleteness. In this work, two datasets with more than thirty million records of the movement of taxis in the cities of San Francisco and Rome were analyzed. We propose an algorithm to treat anomalous speeds identified in the preprocessing step of these datasets. We present the analysis of the datasets before and after the application of the algorithm, showing its relevance and pertinence. The results show specific characteristics of the taxi service in the two metropolises.*

1. Introdução

A crescente disponibilidade de pegadas digitais de veículos com dispositivos de localização georreferenciada tem possibilitado a análise de padrões da mobilidade urbana, além do estudo de serviços de transporte específicos. Dentre estas pegadas digitais destacam-se as referentes aos meios de transporte público, incentivando pesquisas como integração de dados e descoberta de padrões na mobilidade de ônibus [Kozievitch et al. 2016] e dinâmicas do serviço de táxis [Júnior et al. 2016].

Pegadas digitais dos táxis representam uma importante fonte de dados da mobilidade urbana devido às rotas de táxi não estarem restritas a itinerários e horários fixos, tais como ocorre para linhas de ônibus e metrô. Dada a liberdade de trajetos dos táxis, a identificação do percurso realizado depende das localizações registradas por dispositivos GPS. No entanto, este tipo de dado está sujeito a erros variados, tais como erros de GPS [Valero et al. 2014], processamentos em mapas com vias de trânsito incompletas, incorretas, ou com sentido de circulação equivocado, além de possíveis falhas na aquisição ou armazenamento dos dados. Portanto, os estudos das pegadas digitais dos táxis requerem um pré-processamento dos dados antes de sua análise [Monteiro et al. 2016].

O objetivo deste trabalho é estudar a atividade dos táxis das cidades de San Francisco e Roma, traçando um perfil do uso dos serviços de táxi nestas cidades, a partir de

dados coletados. Para alcançar esse objetivo, foi feito inicialmente o pré-processamento dos dados para identificar possíveis erros e inconsistências. Nesta etapa, foram identificadas distâncias anômalas, e propomos o algoritmo Tratamento de Velocidades Anômalas (TVA), que identifica e ajusta anomalias nas velocidades dos táxis em movimento. Após o pré-processamento, foram analisadas as distâncias percorridas pelos táxis no decorrer de um dia típico em ambas as metrópoles, bem como o uso do serviço ao longo do dia.

Foram tratados e analisados mais de 30 milhões de registros de espaço e de tempo, adquiridos em um mês de circulação dos táxis de ambas as cidades. Consideramos que se trata de um *Big Data* pois o grande volume das bases de dados e o caráter multidimensional de dados espaço-temporais dificultam as análises [Monteiro et al. 2016] e inviabilizam a utilização de algumas técnicas de mineração de dados. Além disso, a própria incerteza da localização dos táxis evidencia o desafio em analisar tal conjunto de dados. Os resultados indicam a viabilidade da metodologia proposta e revelam características específicas dos serviços de táxi em cada cidade estudada. O tratamento proposto pode ser útil para estudos de transportes em geral que analisem as trajetórias de veículos, sem a necessidade de manter mapas precisos das vias da cidade. As análises das distâncias diárias acumuladas dos táxis de San Francisco e Roma podem beneficiar as próprias empresas de táxi, os serviços concorrentes tais como *Uber*, bem como clientes que dependem desse serviço.

Este artigo está organizado em seis seções. A seção seguinte discute os trabalhos relacionados. A Seção 3 apresenta as bases de dados utilizadas neste trabalho e a metodologia. A Seção 4 descreve os algoritmos propostos para o pré-processamento dos dados e analisa seus resultados. A Seção 5 apresenta as análises dos dados após o pré-processamento, e a Seção 6 finaliza o trabalho.

2. Trabalhos Relacionados

Trabalhos recentes utilizam dados de transporte público para analisar padrões do fluxo de veículos e estudar comportamentos dos centros urbanos. Grande parte desses trabalhos se baseiam nas localizações registradas durante o percurso a fim de compreender dinâmicas dos serviços de transporte ou propor melhorias para a mobilidade na cidade.

O uso de técnicas de inferência é comum no estudo de dados obtidos por táxis. Por exemplo, [Ganti et al. 2013] inferem o início e fim das rotas de táxi a partir de padrões identificados nas suas movimentações. Os autores alcançaram precisão superior a 90% utilizando uma medida denominada *Stretch Factor*. Essa medida visa diferenciar os momentos em que o táxi está dando voltas pela cidade (possivelmente sem passageiro) dos momentos em que o táxi está se locomovendo diretamente em um sentido (possivelmente com passageiro). Uma das formas de calcular o *Stretch Factor* se baseia nas distâncias percorridas pelos táxis considerando as vias permitidas das cidades.

Em [Oliveira et al. 2015], os autores avaliam técnicas para a escolha do taxista mais próximo a atender um passageiro, comparando um algoritmo guloso contra um algoritmo de otimização. Um método de cálculo da distância entre o taxista e o passageiro também foi avaliado. Os algoritmos foram comparados utilizando a distância Euclidiana e a distância percorrida pelo táxi considerando o sentido permitido das vias. A conjunção do método de distância com o algoritmo de otimização produziu bons resultados.

Um estudo temporal e espacial do serviço de táxis em Belo Horizonte também foi encontrado na literatura [Júnior et al. 2016]. Neste trabalho, os autores analisaram uma

semana de chamadas, finalizações e cancelamentos de rotas obtidas pelo aplicativo *Way-Taxi*. Dentre as análises feitas, foi constatado que 52% das rotas de táxi tiveram distância igual ou menor que dois quilômetros, indicando que a maior parte dos usuários do aplicativo na cidade não solicita trajetos longos de táxi.

Tratamentos das localizações e distâncias percorridas pelos veículos são importantes durante o pré-processamento dos dados. Tais tratamentos são úteis principalmente ao estudar a mobilidade de regiões com vias próximas às outras, conforme demonstrado em [Jones et al. 2007]. Possíveis erros de GPS ao localizar o percurso do veículo podem resultar no mapeamento irreal das vias percorridas. Para contornar esse problema, [Jones et al. 2007] propõem algoritmos para identificar as vias utilizadas por um veículo dado as localizações registradas e a rede de estradas da região. Porém, esses algoritmos não se aplicam às distâncias calculadas entre trechos, tais como as obtidas por meio das ferramentas *Google Maps Distance Matrix API*, *Bing Maps Rest Services – Routes API*, e *Here REST APIs – Calculate Matrix*, dentre outras.

As distâncias das rotas de táxi também foram estudadas em [Monteiro et al. 2016]. Além de padrões espaciais e temporais da mobilidade de táxis em duas metrópoles, foram analisadas as distâncias das rotas de táxi em San Francisco após o tratamento de táxis parados, proposto inicialmente naquele artigo. O presente trabalho estende este trabalho anterior dos mesmos autores, e se diferencia dos trabalhos relacionados por propor o Tratamento de Velocidades Anômalas, e por analisar o funcionamento dos táxis de San Francisco e de Roma com base nas distâncias diárias acumuladas. Estas distâncias diárias foram obtidas por ferramentas de distâncias calculadas entre trechos, e suas velocidades extremas foram corrigidas aplicando o tratamento proposto neste artigo.

3. Bases de Dados e Metodologia

Neste artigo utilizamos duas bases de dados que registram deslocamentos de táxis nas cidades de San Francisco, EUA, e Roma, Itália. Não encontramos bases de dados similares coletadas em metrópoles brasileiras. A base de dados de San Francisco¹ é composta por 536 arquivos texto, cada arquivo referente a um táxi [Piorkowski et al. 2009]. No total, a base contém 11.219.955 linhas, e cada linha registra os seguintes dados: identificação do táxi; localização em latitude e longitude; *status* de ocupação (1 para táxi com passageiro e 0 para táxi sem passageiro); e *timestamp* no formato *Unix Epoch* do momento de aquisição destes dados. A base de dados de Roma², contém 21.817.851 registros em um único arquivo sobre 316 taxistas diferentes [Bracciale et al. 2014]. Cada linha contém a identificação do taxista, a localização em latitude e longitude, e a data e a hora de aquisição dos dados. Os dados da base de San Francisco foram armazenados a cada 60 segundos em média, de 17/05/2008 a 10/06/2008, enquanto os dados da base de Roma foram armazenados a cada 7 segundos em média, de 01/02/2014 a 03/03/2014.

É importante ressaltar que a base de dados de San Francisco teve suas informações registradas por meio de um dispositivo acoplado aos táxis, enquanto a base de Roma é obtida por meio de *tablets* que estavam com os taxistas. Além disso, a base de dados de Roma não informa quando o taxista estava com ou sem passageiro. Utilizamos o termo “registro” para referir a cada linha das bases de dados; “trecho” para definir o movimento

¹<http://crawdad.org/epfl/mobility/20090224/>

²<http://crawdad.org/roma/taxi/20140717/>

do táxi a cada dois registros consecutivos; e “rota” para representar uma sequência de registros com o mesmo *status* de ocupação. Como apenas a base de San Francisco registra a ocupação dos táxis, discutimos rotas somente para San Francisco.

As distâncias percorridas pelos táxis foram calculadas utilizando a *Google Maps Distance Matrix API*. Essa *API* foi escolhida após comparação com várias *APIs* disponíveis, ver detalhamento das opções em [Monteiro 2016]. Esta *API* considera o sentido permitido das vias de trânsito e permite até 2.500 consultas gratuitas, diariamente, de distâncias entre trechos, para cada conta aberta no sistema. No nosso caso, foram utilizadas cerca de duas centenas de contas para que o resultado apresentado aqui fosse obtido. Devido à grande quantidade de trechos nas duas bases de dados, obter a distância percorrida para todos os trechos sem algum pré-processamento seria inviável dado o limite de consultas gratuitas. Este problema foi solucionado conforme descrito a seguir.

Optamos por reduzir a precisão das coordenadas geográficas registradas visando diminuir a quantidade de localizações únicas, mesmo procedimento adotado em [Rossi et al. 2015, Monteiro et al. 2016]. A precisão das coordenadas com quatro casas decimais é de 11,132 metros na linha do Equador, consideramos essa precisão aceitável para localizar um automóvel. Portanto, as coordenadas geográficas de ambas as bases de dados foram arredondadas para quatro casas decimais e não foram feitas consultas repetidas à *API* do *Google Maps* para trechos que, após o arredondamento, tenham o mesmo local de início e fim. Dessa forma, a quantidade de trechos a consultar para a base de San Francisco foi reduzida de 11.218.651 para 7.351.320 (queda de 34,47%), e para a base de Roma foi reduzida de 21.817.828 para 4.515.642 (queda de 79,30%). A redução maior em Roma é explicada pelo menor tempo médio entre coletas de dados (sete segundos).

Ambas as bases de dados foram filtradas para retirar registros que apresentaram evidências de erros de localização, incluindo registros de táxis localizados no mar, trechos de centenas de quilômetros que teriam sido percorridos em segundos, ou de trechos em que a *API* do *Google Maps* não encontrou uma rota permitida. Estes filtros retiraram menos de 0,008% dos dados de San Francisco e Roma. A retirada destes registros anômalos foi discutida em [Monteiro et al. 2016]. Após estes pré-processamentos, as distâncias entre os trechos foram coletadas utilizando-se a *API* escolhida. A partir destes dados, aplicamos os algoritmos Tratamento de Táxis Parados [Monteiro et al. 2016] e Tratamento de Velocidades Anômalas (apresentado na subseção 4.2). Finalmente, foram realizadas análises estatísticas e exploratórias das distâncias, apresentadas nas seções 5.1 e 5.2.

Após estes processamentos, avaliamos se há diferença com 5% de significância entre as distâncias calculadas antes e após o Tratamento de Velocidades Anômalas, utilizando o teste estatístico de Kolmogorov-Smirnov para duas amostras. Este teste foi escolhido por ser não paramétrico e livre de distribuição, sendo assim mais robusto [Gibbons and Chakraborti 2003].

4. Algoritmos para o Tratamento dos Dados

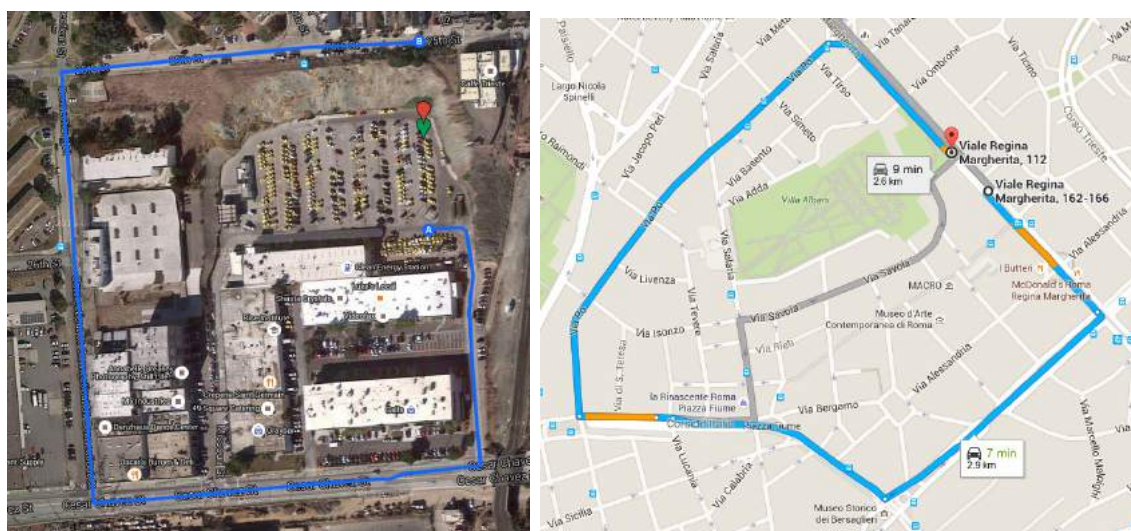
Esta seção aborda os algoritmos utilizados para o tratamento das distâncias percorridas pelos táxis em San Francisco e Roma. Inicialmente discutimos as distâncias anômalas obtidas pela *API* do *Google Maps* e o tratamento já existente para eliminar parte destas anomalias. Finalmente, apresentamos o tratamento proposto para corrigir as velocidades

extremas identificadas.

4.1. Distâncias Anômalas Identificadas

As distâncias percorridas pelos táxis são importantes, por exemplo, para análises exploratórias das dinâmicas da cidade [Alvarenga et al. 2016, Júnior et al. 2016], e para a mineração de trajetórias [Ganti et al. 2013]. Identificar e tratar anomalias no cálculo dessas distâncias é crucial para a correção de possíveis erros nas bases de dados [Monteiro et al. 2016].

As distâncias de todos os trechos percorridos pelos táxis foram calculadas utilizando-se a *Google Maps Distance Matrix API*. Essa ferramenta recebe como parâmetro os locais de início e fim de um trecho (além de outros parâmetros opcionais) e retorna a distância e duração estimadas para o percurso utilizando as vias permitidas. Porém, há situações em que a distância estimada para um trecho é muito acima do esperado. A título de exemplo, mostramos duas situações identificadas como anomalias, calculadas pela citada *API*, e ilustradas na Figura 1.



(a) Distância com o táxi parado

(b) Distância com o táxi movimentando

Figura 1. Distâncias anômalas calculadas pelo *Google Maps*

A Figura 1 (a) mostra o estacionamento da empresa *SF Yellow Cab*, na cidade de San Francisco, e ilustra uma distância anômala calculada neste estacionamento. Alguns táxis permaneciam, aparentemente, parados neste estacionamento por horas, sem interromper o armazenamento de registros da sua localização e tempo. Em diversos momentos, a localização do táxi variava poucos metros em torno de um mesmo ponto. Esse comportamento é ilustrado na Figura 1 (a) pelo deslocamento de um táxi do local marcado em verde ao local marcado em vermelho. Essas pequenas variações registradas em torno de um mesmo local causam anomalias significativas nas análises de mobilidade dos táxis, principalmente quando a distância calculada considera o sentido permitido das vias de trânsito. A distância do trecho entre o ponto verde e o ponto vermelho indicados na figura é de somente 12 metros. Porém, o *Google Maps* estimou que o táxi teria percorrido um trecho de 958 metros (ilustrado em azul) do ponto verde ao ponto vermelho. Anomalias deste tipo foram tratadas pelo algoritmo Tratamento de Táxis Parados (TTP), proposto em [Monteiro et al. 2016].

A Figura 1 (b) ilustra uma distância anômala quando um táxi de Roma estava movimentando na avenida *Viale Regina Margherita*. A localização do táxi variou somente 109 metros (do ponto branco até a marcação em vermelho). Porém, a *API* do *Google Maps* estimou que o táxi teria percorrido uma distância de 2,9 quilômetros de extensão (em azul). Uma vez que o intervalo de tempo deste trecho foi de apenas 1,2 segundo, a velocidade do táxi ao percorrer os 2,9 quilômetros estimados teria sido de 8.619 km/h. É possível que, devido a um erro de GPS, o táxi tenha sido localizado na contra-mão, fazendo o *Google Maps* propor um retorno muito maior seguindo as vias de trânsito permitidas. Também é possível que a localização do táxi esteja correta, mas que haja um erro nas vias catalogadas no mapa ou uma imprecisão da *API* que calcula as distâncias. Este tipo de anomalia foi tratado pelo algoritmo Tratamento de Velocidades Anômalas, apresentado na subseção a seguir.

4.2. Tratamento de Velocidades Anômalas

Esta subseção apresenta o tratamento proposto para situações em que foram identificadas velocidades anômalas para um táxi em movimento, como por exemplo, ilustrado na Figura 1 (b). O Tratamento de Velocidades Anômalas (TVA) pode ser aplicado em análises que envolvam cálculo de distâncias e velocidades de veículos, bem como em análises de objetos móveis que estejam propensos a erros de localização, de registro de tempo ou erros do próprio mapa.

Para calcular a distância percorrida em um trecho, a *API* do *Google Maps* recebe como parâmetros de localização somente os pontos de início e fim do trecho. Esta *API* utiliza um algoritmo similar ao “Simple Distance Map Matching (SDMM)”, apresentado em [Jones et al. 2007], para ajustar cada localização de GPS a uma via, dado que a identificação destes pontos no mapa aparenta ser baseada somente na rua mais próxima.

O TVA pode ser descrito da seguinte forma. Considere que um táxi está seguindo uma rota, composta por uma sequência de coordenadas: $c_1, c_2, c_3, c_4, \dots$. A *API* recebe inicialmente o trecho (c_1, c_2) , e retorna sua distância, que é dividida pela diferença entre os tempos registrados em cada coordenada, produzindo assim a velocidade estimada para o trecho. Uma velocidade é considerada anômala sempre que ultrapassar um limiar v . Toda vez que uma velocidade anômala é calculada em um trecho, o algoritmo TVA refaz o cálculo da distância tomando como destino a coordenada seguinte. Por exemplo, se for calculada uma velocidade anômala para o trecho (c_1, c_2) , o algoritmo tomará como destino a coordenada c_3 , e assim calculará nova velocidade para o trecho (c_1, c_3) . Se o problema persistir, o algoritmo tomará como destino a coordenada c_4 , e calculará nova velocidade para o trecho (c_1, c_4) , e assim por diante, até que a velocidade obtida seja menor ou igual que v ou não haja mais coordenadas aceitáveis na sequência. A premissa é que erros pontuais como imprecisões do registro de tempo ou do GPS ou mesmo da *API* poderão ser eliminados facilmente.

A técnica foi aplicada aos dados após o tratamento do algoritmo TTP, utilizando o limiar $v = 150$ km/h. Depois de aplicar o TVA, o número de trechos na base de dados de San Francisco foi reduzido em 2,82%. Na base de dados de Roma a redução foi de 10,58%. A menor identificação de trechos anômalos em San Francisco se deve ao fato de que o tempo entre coletas de dados nesta base é de um minuto. Portanto, somente trechos com distância acima de 2,5 quilômetros (supostamente percorridos em um minuto) indicarão velocidade maior que o limiar $v = 150$ km/h. Já em Roma, os registros foram feitos

em intervalos mais curtos, de sete segundos em média, o que amplifica potenciais erros, e explica o maior impacto da aplicação do TVA.

Uma vez que não é possível saber quando houve erro no cálculo da distância, não é possível calcular medidas como *precision*, *recall* e acurácia do TVA. Assim, avaliamos se houve diferença significativa entre as distâncias antes e após a aplicação do TVA. O teste estatístico de Kolmogorov-Smirnov foi utilizado para avaliar a hipótese nula de igualdade entre as seguintes distâncias antes e após a aplicação do TVA: (i) todas as distâncias dos trechos; (ii) todas as distâncias das rotas; (iii) somente entre rotas de táxis com passageiro; (iv) somente entre rotas de táxis sem passageiro; e (v) entre as distâncias diárias acumuladas dos táxis. Este teste estatístico é importante para certificar que o tratamento promoveu diferença relevante nas distâncias e velocidades.

Para todos estes casos, na base de dados de San Francisco, o p-valor foi menor que $2,2 \times 10^{-16}$ (menor valor de arredondamento do *software R*). Portanto, podemos afirmar com 5% de significância que há evidências estatísticas para refutar a hipótese de igualdade entre as distribuições. Para a base de dados de Roma, obtivemos o mesmo resultado para os casos (i) e (v). Os demais casos não foram avaliados para esta base porque não há a informação de status de ocupação para a definição das rotas. Os resultados evidenciam que o algoritmo TVA tem um impacto significativo no cálculo de distâncias de cada trecho, das distâncias das rotas percorridas com ou sem passageiro em San Francisco e das distâncias acumuladas no decorrer do dia. Comparações estatísticas adicionais a respeito do impacto dos algoritmos TTP e TVA são apresentadas em [Monteiro 2016]. Tais análises foram omitidas neste trabalho devido à restrição de espaço.

Os resultados da aplicação do TVA nas bases de dados de San Francisco e de Roma são apresentados a seguir. A Figura 2 apresenta mapas de calor após a aplicação somente do TTP e após a aplicação do TTP e TVA na cidade de San Francisco. Um mapa de calor é uma representação gráfica de pontos em uma matriz colorida. Cada ponto deste mapa representa a velocidade média dos táxis em determinado local da cidade. Quanto mais vermelho o ponto, maior é a velocidade média registrada no local. A Figura 2 (a) apresenta as velocidades médias antes da aplicação do TVA e a Figura 2 (b) apresenta as velocidades médias após a aplicação do TVA. Os locais em que a velocidade média ultrapassava 150 km/h antes do TVA tiveram suas velocidades médias reduzidas para um valor em torno de 100 km/h após TVA. Esse valor condiz com o limite de velocidade nesta cidade, que é de 70 milhas por hora³, o equivalente a 112,65 km/h.

A Figura 3 apresenta os mesmos resultados para a base de dados de Roma. Após o TVA, as velocidades médias das vias de trânsito rápido em Roma reduziram de mais de 150 km/h para velocidades em torno de 80 km/h a 100 km/h. Esses valores condizem com o limite de velocidade da cidade, que é de 130 km/h⁴. Na região central, as velocidades médias reduziram também de valores acima de 150 km/h para velocidades em torno de 20 km/h a 40 km/h, ficando similares às da região central de San Francisco e razoáveis para táxis que trafegam no centro de uma cidade. Estes resultados indicam que o algoritmo TVA identifica e reduz anomalias nas distâncias e velocidades em bases de dados de mobilidade urbana. Estas anomalias podem ocorrer devido a diversas fontes de erros e o tratamento é necessário para contornar valores improváveis no contexto estudado.

³<http://carrentalscout.com/driving-speed-limits-san-francisco>

⁴<http://carrentalscout.com/driving-speed-limits-rome>

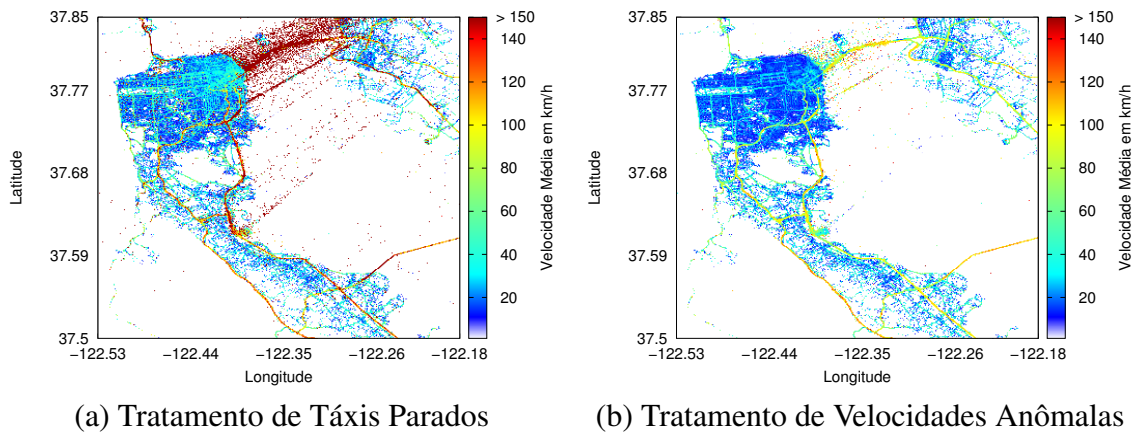


Figura 2. Impacto do algoritmo TVA em San Francisco

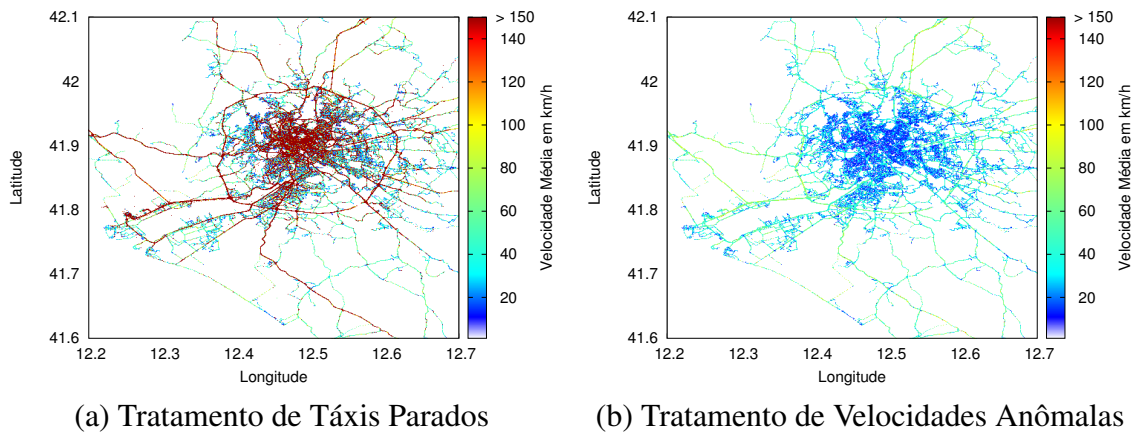


Figura 3. Impacto do algoritmo TVA em Roma

5. Resultados e Comparação entre os Serviços de Táxis das Metrôpoles

Esta seção apresenta a análise das distâncias diárias e velocidades calculadas para San Francisco e Roma após a aplicação dos algoritmos TTP e TVA. A subseção 5.1 aborda os resultados para San Francisco. A subseção 5.2 aborda a análise da base de dados de Roma. Esta análise se diferencia das apresentadas em [Alvarenga et al. 2016, Monteiro et al. 2016] por considerar as distâncias percorridas e não a quantidade de táxis ou o número de registros obtidos. Dessa forma, táxis estacionados por horas (ou dias) não interferem nas análises do horário de atividade dos serviços de táxi, por exemplo.

Preocupar-se com tais interferências é necessário dado que, após o TTP, 23,28% dos trechos de San Francisco foram inferidos como parados. Em Roma, 56,54% dos trechos foram inferidos como parados. O fato de mais da metade dos táxis da base de dados de Roma estarem parados condiz com as informações dos guias turísticos de Roma⁵⁶⁷ os quais mencionam que os táxis da cidade normalmente não trafegam pelas ruas procurando passageiros. Nesse caso, é recomendado aos passageiros que se direcionem a um ponto de táxi ou que telefonem para uma companhia de táxis solicitando o serviço.

⁵<http://wikitravel.org/en/Rome>

⁶<http://www.rome.info/transportation/>

⁷<http://europeforvisitors.com/rome/transportation/rome-taxis.htm>

5.1. Análise das Distâncias e Velocidades dos Táxis em San Francisco

Esta seção apresenta a análise das distâncias diárias percorridas pelos táxis de San Francisco, bem como de suas velocidades. Compreender a evolução da distância trafegada pelos táxis no decorrer do dia é importante para o gerenciamento das agências de táxi e para o planejamento de transportes públicos com base nos horários que os táxis estavam em atividade, por exemplo.

A Figura 4 apresenta as distâncias acumuladas pelos táxis de San Francisco durante um dia típico (21/05/2008, quarta-feira, não feriado). Vários dias foram analisados e apresentaram resultados similares [Monteiro 2016]. Cada linha representa um táxi, sendo que as linhas mais vermelhas representam os táxis que percorreram distâncias maiores no decorrer do dia, e as linhas mais azuis representam os táxis que percorreram distâncias menores no decorrer do dia. Na Figura 4 (a) nota-se que, em geral, as distâncias acumuladas ao longo das horas crescem em ritmo linear. O táxi com maior distância percorrida alcançou cerca de 898 quilômetros percorridos até o final do dia. Essa distância é aceitável, considerando que mais de um taxista pode ter dirigido o mesmo táxi no dia e em turnos diferentes.

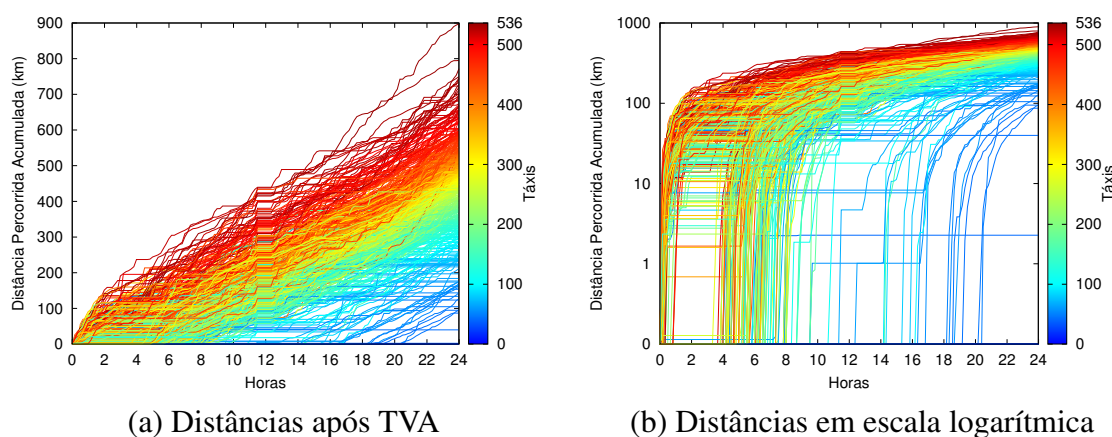


Figura 4. Distâncias acumuladas no dia 21/05/2008 em San Francisco

Observa-se que as distâncias percorridas pela maioria dos táxis aumentam no decorrer do dia, com crescimento pequeno ou nulo no início da madrugada, indicando menor quantidade de táxis circulando neste horário. Em todos os táxis de San Francisco no dia em questão, não foram encontrados registros em torno das 12:00. Esta ausência de registros é representada nos gráficos da Figura 4 pela pausa no aumento das distâncias.

A Figura 4 (b) apresenta o mesmo gráfico da Figura 4 (a), porém, com escala logarítmica no eixo y . Observa-se que um grupo de táxis começou a registrar distâncias entre as 04:00 e 08:00 da manhã. Por outro lado, não houve táxis iniciando as suas movimentações no período das 01:00 às 03:00 da manhã ou a partir das 21:00. Temos como hipótese de que os táxis que teriam iniciado as movimentações às 00:00 são táxis que já estavam em serviço desde o dia anterior. Portanto, parece ser incomum um táxi iniciar suas atividades no período das 21:00 às 03:00 da manhã em San Francisco.

A Tabela 1 apresenta medidas estatísticas das distâncias diárias percorridas pelos táxis de San Francisco, e também das velocidades calculadas após a aplicação do TTP e após a aplicação do TVA. Observa-se que a aplicação do TVA produz uma pequena queda

nas medidas apresentadas, exceto nas medidas da cauda (percentis e maior valor). Em especial, o maior valor é bastante reduzido, afetando a média. Os dados consideram todos os dias da base de dados de San Francisco. A maior distância diária obtida foi de 970,79 quilômetros, valor 21% menor que o percentil 99 (de 767,87 quilômetros). A velocidade média é compatível com o funcionamento dos táxis, os quais podem ficar estacionados por horas ou circular pela cidade em velocidades reduzidas procurando por passageiros.

Tabela 1. Distâncias diárias e velocidades em San Francisco

Medidas	Distâncias Diárias (km)		Velocidades (km/h)	
	após TTP	após TVA	após TTP	após TVA
1° Quartil	403,896	359,28	0,68	0,67
Mediana	520,753	454,43	18,44	18,35
Média	543,532	441,46	29,66	26,29
3° Quartil	638,130	538,96	34,38	34,08
Percentil 90	757,389	617,96	73,07	69,79
Percentil 99	1.031,911	767,87	145,49	128,83
Maior	17.155,876	970,79	46.703,83	150,00
Coef. de variação	0,99	0,34	2,48	1,20

5.2. Análise das Distâncias e Velocidades dos Táxi em Roma

A Figura 5 (a) apresenta as distâncias diárias acumuladas em um dia típico na cidade de Roma (12/02/2014, quarta-feira, não feriado). Diferentemente de San Francisco, observa-se aqui mais claramente um padrão de uso do serviço de táxi, em que há basicamente dois grupos de taxistas iniciando seu trabalho ao longo do dia. Um grupo inicia o trabalho na parte da manhã, e outro inicia a partir das 12:00, sendo que alguns taxistas estendem sua jornada de trabalho até após a meia noite.

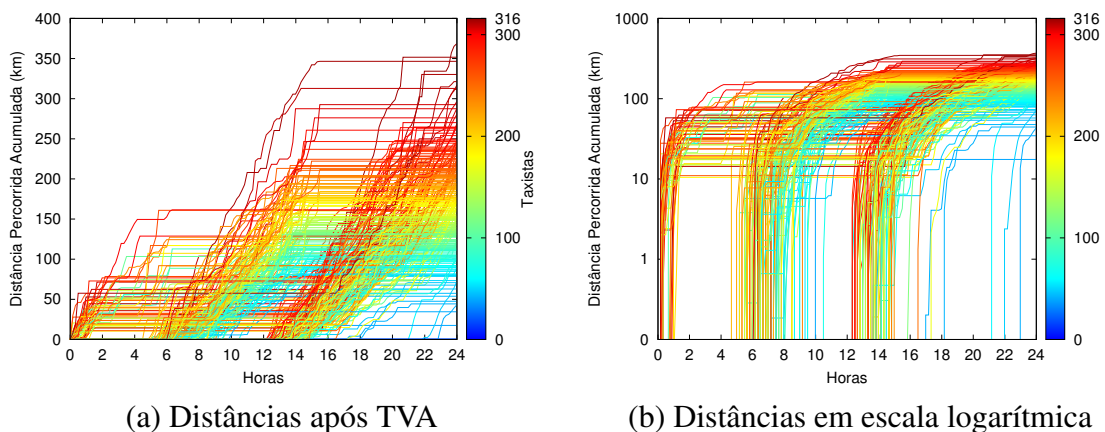


Figura 5. Distâncias acumuladas no dia 12/02/2014 em Roma

A Figura 5 (b) apresenta os mesmos dados que a Figura 5 (a), porém com o eixo y em escala logarítmica para realçar o início das jornadas. Pode-se notar dois grupos de taxistas iniciando a jornada de trabalho: um grupo das 05:00 às 10:00 da manhã e outro das 12:00 às 15:00. É possível que o grupo que aparece à 00:00 corresponda aos taxistas noturnos de Roma que ainda não encerraram a jornada de trabalho.

A Tabela 2 apresenta medidas estatísticas das distâncias diárias percorridas pelos táxis em Roma, e as velocidades calculadas após a aplicação do TTP e após a aplicação do TVA. Considerando todos os dias da base de dados de Roma, a maior distância diária obtida foi de 486,87 quilômetros, e o percentil 99 foi 355 quilômetros (27% menor). Estas distâncias são cerca de metade das calculadas para San Francisco, sugerindo que os táxis de San Francisco eram utilizados por mais de um taxista em mais de um turno do dia.

Tabela 2. Distâncias diárias e velocidades em Roma

Medidas	Distâncias Diárias (km)		Velocidades (km/h)	
	após TTP	após TVA	após TTP	após TVA
1º Quartil	283,19	124,38	0	0
Mediana	412,88	166,08	0	0
Média	480,67	171,19	34,34	15,86
3º Quartil	607,16	212,76	23,10	22,22
Percentil 90	860,65	262,47	56,82	50,77
Percentil 99	1.485,30	355,29	517,64	136,37
Maior	3.710,16	486,87	236.555,19	149,99
Coef. de variação	0,62	0,40	7,80	2,67

As análises de distâncias diárias dos táxis nos permitem visualizar e comparar padrões do funcionamento dos táxis em ambas as cidades. Tais resultados foram possíveis devido ao TVA ter tratado medidas anômalas obtidas quando o táxi estava movimentando.

6. Conclusão

Tratar e analisar grandes quantidades de dados é uma tarefa cada vez mais comum. Na etapa de pré-processamento, os dados são verificados para identificar inconsistências, possíveis erros e incompletude. Bases de dados que combinam informações de tempo e espaço podem tornar a análise ainda mais complexa devido à natureza contínua destas grandezas, associada às limitações das medições e erros. Estes erros podem ocorrer nos dispositivos e ferramentas utilizadas para obter e processar estes dados.

Neste trabalho, apresentamos um algoritmo para detecção e correção de velocidades anômalas, inconsistentes com as vias de tráfego, bem como a análise do impacto das correções realizadas. Estas anomalias ocorreram possivelmente devido a erros nos *timestamps* registrados nas bases de dados, e devido a erros na localização GPS dos táxis, nos mapas utilizados ou na *API* utilizada para o cálculo das distâncias. Vencidas estas etapas, analisamos padrões temporais do funcionamento dos táxis ao longo do dia com base nas distâncias tratadas. Estes padrões evidenciam horários de menor funcionamento do serviço e períodos do dia em que os taxistas iniciam suas atividades. O algoritmo e as análises realizadas podem ser aplicadas a dados de localização de qualquer tipo de veículo.

Muitas análises podem ser feitas em trabalhos futuros. Por exemplo, podemos definir limiares de velocidades diferentes para os diferentes tipos de via; realizar o tratamento de velocidades com base na aceleração do veículo; e estimar o faturamento e lucro dos taxistas no decorrer do dia utilizando as distâncias após o tratamento. Além disto, podemos também confrontar os dados obtidos com a legislação local acerca do serviço de táxi para identificar como os limites legais são refletidos nas bases de dados.

7. Agradecimentos

Os autores agradecem ao CEFET-MG e aos financiadores dos projetos INCT InWeB (MCT/CNPq 573871/2008-6) e MASWeb (FAPEMIG/PRONEX APQ-01400-14).

Referências

- Alvarenga, D., da Cunha, F. D., Viana, A. C., Mini, R. A., and Loureiro, A. A. (2016). Classificando comportamentos sociais em redes veiculares. In *XXXIV Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos (SBRC)*. SBC.
- Bracciale, L., Bonola, M., Loreti, P., Bianchi, G., Amici, R., and Rabuffi, A. (2014). CRAWDAD dataset roma/taxi (v. 2014-07-17). Downloaded from <http://crawdad.org/roma/taxi/20140717>.
- Ganti, R., Srivatsa, M., Ranganathan, A., and Han, J. (2013). Inferring Human Mobility Patterns from Taxicab Location Traces. In *Proceedings of the 2013 ACM international joint conference on Pervasive and ubiquitous computing*, pages 459–468. ACM.
- Gibbons, J. D. and Chakraborti, S. (2003). *Nonparametric Statistical Inference*. Marcel Dekker, New York.
- Jones, K., Liu, L., and Alizadeh-Shabdiz, F. (2007). Improving Wireless Positioning with Look-Ahead Map-Matching. In *Fourth Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Networking & Services (MobiQuitous)*, pages 1–8. IEEE.
- Júnior, A. M. S., Sousa, M. L., Xavier, F. Z., Xavier, W. Z., Almeida, J. M., Ziviani, A., Rangel, F., Avila, C., and Marques-Neto, H. T. (2016). Caracterização do Serviço de Táxi a partir de Corridas Solicitadas por um Aplicativo de Smartphone. In *XXXIV Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos (SBRC)*. SBC.
- Kozievitch, N. P., Gadda, T. M. C., Fonseca, K. V. O., Rosa, M. O., Gomes-Jr, L. C., and Akbar, M. (2016). Exploratory Analysis of Public Transportation Data in Curitiba. In *43o. Seminário Integrado de Software e Hardware (SEMISH)*. SBC.
- Monteiro, C. M. (2016). Padrões de Mobilidade Urbana em Serviços de Táxi. Mestrado em Modelagem Matemática e Computacional, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET-MG, Belo Horizonte.
- Monteiro, C. M., Silva, F. R., and Murta, C. D. (2016). Análise de Padrões Espaciais e Temporais da Mobilidade de Táxis em San Francisco e Roma. In *43o. Seminário Integrado de Software e Hardware (SEMISH)*. SBC.
- Oliveira, A., Souza, M., de A. Pereira, M., Reis, F. A. L., Almeida, P. E. M., Silva, E. J., and Crepalde, D. S. (2015). Optimization of Taxi Cabs Assignment in Geographical Location-based Systems. In *XVI Brazilian Symposium on GeoInformatics*, pages 92–104. SBC.
- Piorowski, M., Sarafijanovic-Djukic, N., and Grossglauser, M. (2009). CRAWDAD dataset epfl/mobility (v. 2009-02-24). Downloaded from <http://crawdad.org/epfl/mobility/20090224>.
- Rossi, L., Walker, J., and Musolesi, M. (2015). Spatio-temporal techniques for user identification by means of GPS mobility data. *EPJ Data Science*, 4(1):1–16.
- Valero, B., Luis, J., Julián, A., Belén, A., Villén, G., and Natalia (2014). *GNSS. GPS: Fundamentos y Aplicaciones en Geomática*. Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia, Valencia.

Recognizing Falls and Surfaces Using Mobile Devices

Vicente J.P. Amorim², Carlos A. L. Mion¹, Igor M. Pereira¹,
Ricardo C. Camara², Andrea G. C. Bianchi², Ricardo A. R. Oliveira²

¹iMobilis Lab – Department of Computer and Systems (DECSI)
Federal University of Ouro Preto (UFOP)
João Monlevade – MG – Brazil

²Department of Computing (DECOM)
Federal University of Ouro Preto (UFOP)
Ouro Preto – MG – Brazil

Abstract. *Mobile devices are getting much more relevance during the users' day, in a way that they are paying to increase device security and durability through external cases or insurance plans. However, these approaches are useless if the individuals does not properly take care of their devices. This paper describes an approach to monitor and classifies a surface where a smartphone falls, making possible to categorize this crash into a range of dangerousness. The authors collected empirical data from device falls to make possible the development of an optimal classifier. Our results reached up to 88% recognition rate of surfaces considering a specific features subset, letting us conclude that it is possible to infer user care level through the analysis of how a device is being treated.*

1. Introduction

Currently, the number of active mobile devices worldwide has already surpassed the amount of people [Independent 2014]. In some countries, there are already more than three devices per person [Portal 2014]. Projections expect this number still increasing about five times population growing rate annually. By the users' point of view, many personal mobile devices require more caution and care when handling them. With large screens surrounded by plastic cases, these pieces of equipment commonly need extra protection given by accessories, such as reinforced external cases, glass films for the screens, and so on. Even though, unsatisfied users appeal to other solutions to keep safe their devices, such as protection and insurance plans.

Despite many options to keep devices protected, users' care still the most important point to maintain the hardware safe. Both insurance plans and physical accessories do not provide a focus on user behavior, mainly if devices carelessness is a recurring conduct. No protection plan or the external case will guarantee device sanity without users proper care. Indeed, especially in the enterprise context, care with lend equipment is critical, with companies providing devices to their employees and expecting that they will return it safe and functional. Moreover, this same uncertainty scenario can be found when considering parents and their sons. Then, it is easy to note that a deeper monitoring mechanism, which takes into account the final users' behavior, will help devices owners to keep their hardware safe. Besides that, insurance companies may have a higher guarantee that users are not abusing their benefits.

Some related proposals try to recognize user behavior considering mobile devices inertial sensors, such as accelerometer and gyroscope. Data coming from these sensors may allow special applications infer whether a device/user is falling to the ground or not [Majumder et al. 2013][Mehner et al. 2013]. Although imperative, knowing when a device/user is falling is not enough by itself without having surface dangerousness estimation. Another set of solutions tries to infer the surface characteristics where a device is placed [Darbar and Samanta 2015][Cho et al. 2012].

This work presents a novel classification method that allows inferring the dangerousness of a surface where a mobile device falls. Through the use of device accelerometer sensors, the authors collected data from falls and classified the surfaces into four different categories. Results presented at the end allow us to conclude that it is possible to detect a reckless user behavior. This information can be managed for user self-monitoring or even to inform devices real owners. Briefly, the key contributions of this paper are: an Android platform application that continuously monitors accelerometer data triggering for a fall; and a classification method to distinguish between four different surfaces. This classification may allow other mobile applications aiming to characterize users care level when handling their mobile devices.

This paper is divided into the following segments: Section 2 present the works related to the one described here. Section 3 describes fundamental concepts that should be taken into account to understand this paper. Section 4 depicts main actions taken during the development phase. Section 5 outline the results reached by this work, while Section 6 presents the general conclusion and provides an overview of future works.

2. Related Works

Researches using data gathered from mobile device's sensors can be found in the literature. Especially inertial sensors, such as accelerometers and gyroscopes, have been contextualized with a lot of different solutions. The majority of related works focus on the analysis of users and devices falls besides surface type recognition. Although no identical work was found in literature, this section will present bellow proposals that are, in some way, related to the one described here.

A fall detection algorithm is depicted by [Mehner et al. 2013]. This solution is based on a threshold that uses acceleration data to trigger for a fall. The work presents a fall detection description, including the stages before and after a fall occurrence. However, this work does not provide any information about falls severity regarding the surface where object hits. Similarly, the work presented in [Majumder et al. 2013] describes the "iPrevention" system. Built inside a smartphone, it is in charge to detect elderly patients falls identifying high-risk ones. Despite the presented results, this system also does not deal with surface analysis as a way to characterize the risk of a fall.

Another class of related works focuses on surface recognition using data from mobile devices sensors. Proposals described in [Darbar and Samanta 2015] and [Hwang and Wohn 2013] focus on the physical users' context, presenting different systems to identify locations where their mobile devices are placed, such as pant's pocket, backpack and wooden table. On both works, there is no analysis connecting the device context and surface with falls detection. Moreover, [Cho et al. 2012] shows the "VibePhone" solution, that focuses on the same concepts as the previous works. An

SVM (Support Vector Machine) is used to classify vibration data obtained from an accelerometer that varies according to the surface where a smartphone is placed. By its turn, [Windau and Shen 2010] describes a system for surface identification based on the time spent until inertia. A robot arm “knocks” the surface and analyzes accelerometer data to characterize its parameters, such as hardness, elasticity and stiffness. In [Sinapov et al. 2011], a similar approach is considered using a robot hand to rubber different surfaces, analyzing generated vibrations through the use of SVM and k-nearest neighbors (k-NN) classifiers. However, these two previous proposals are not feasible to be applied on a mobile device once they require external equipment.

Finally, work presented by [Weiss et al. 2006] uses a vehicle context to describe the surface recognition problem. A car prototype (cart) containing sensors was used to collect data after runs on seven different scenarios. The proposed idea is similar to the one considered in this paper. However, collected data is different once a fall is not considered.

3. Background

To properly understand the work described in this paper, some basic concepts must be introduced. Three key concepts used here are presented bellow.

3.1. Accelerometer Sensor

Accelerometer sensor is in charge of measuring acceleration values applied over it through three main vectors (X,Y,Z), that describe the acceleration magnitude related to each direction. Any linear combination of these three vectors is also possible to be obtained. This sensor was used in this work to gather the acceleration values over time during a fall, and after that, when the mobile device hits the ground. Considering this, the accelerometer sensor can be used to measure gravity acceleration based on the values of three axes. Figure 1 depicts an accelerometer vectors inside a generic smartphone.

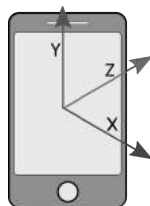


Figure 1. Accelerometer vectors applied to a generic device.

3.2. Surfaces Dangerousness

The surface roughness can imply a higher or a lower risk to the mobile device integrity, not only the screen, but also inner hardware. In this work, the roughness classification was the focus in a way that it can be used in the calculation of how much damage the device may suffer.

3.3. Classification Methods

Bellow is presented a short description about the variety of classification methods used in this work:

- **Logit Boost:** Initially proposed by [Friedman et al. 1998]. This class performs classification using a regression scheme as the base learner. Can handle multi-class problems;
- **Bagging:** Initially proposed by [Breiman 1996], this method does bagging to a classifier to reduce variance. Can do classification and regression depending on the base learner;
- **Random Forest:** Initially proposed by [Breiman 2001], the Random Forest method (or “Random Decision Forests”) operate by constructing a multitude of decision trees at training time. It outputs a class that is used as a kind of mean prediction (regression) of the individual trees. Random decision forests correct for decision trees’ habit of overfitting to their training set; and
- **Support Vector Machine (SVM):** Initially proposed by [Boser et al. 1992], the Support Vector Machine (SVM) is a supervised learning classification algorithm that focuses on a training set to separate new elements into existing groups. In its commonest version, SVM classifies the items into two different sets. However, there are algorithm versions considering a multi-label approach, classifying data into several groups. It is valid to note that development phase takes into account an existent SVM implementation: LibSVM [Chang and Lin 2011], which supports multiset/multilabel approach (second block of “Data Pre-Processing” phase on Figure 2).

4. Development Considerations

The development of solution presented by this paper was separated into four steps: Environment preparation, data acquisition, data pre-processing and training process, and classification. Except for environment preparation step, Figure 2 presents an overview about every development stage, detailed on the remaining of this section.

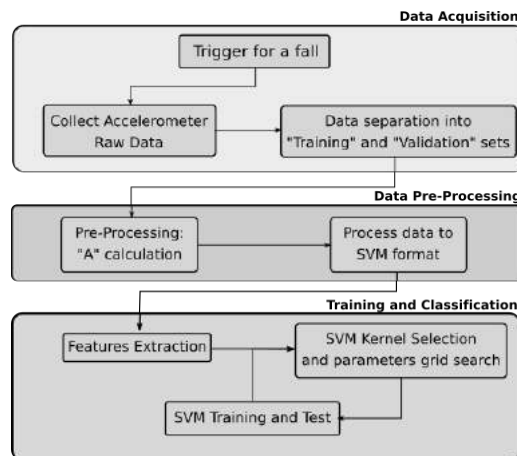


Figure 2. Steps taken by development process to classify surfaces of a fall.

4.1. Environment Preparation

Several tests were conducted aiming to develop and validate an application that identifies a surface where a mobile device falls. Four different surfaces were considered: sand, grass, towel extended on the ground and a pillow. These surfaces were taken into account

because they represent the high and low-end points regarding dangerousness for a falling device: Here, to allow tests repetition without permanent damage to the smartphone, a towel extended on the ground was considered as the most critical surface, while a pillow was the less dangerous one.

4.2. Data Acquisition

This work has used an Android test application, which was developed by the authors, installed on smartphone devices to gather accelerometer sensor data. This application works sampling data at a normal rate (controlled by Android “SENSOR_DELAY_NORMAL” constant) until a fall is detected. Once it happens, the system starts to collect information in a higher frequency (controlled by Android “SENSOR_DELAY_FASTEST” constant). The whole process can be described according to the following steps:

1. **Trigger for a fall:** Constantly analyzes a time window of samples and searches for an acceleration value that indicates a device fall;
2. **Collect accelerometer raw data:** Record data from accelerometer sensor right after it hits the ground and while the sensor do not stabilize; and
3. **Data separation:** Separate collected data into two different sets (training and validation). Data from one set are not used by the other one.

For every group, 400 runs were done (100 falls for each surface), in a total of 800 runs. Moreover, data acquisition was made taken into account the following parameters:

- Height of fall: 85cm from the highest point to the top of the surface. Calculated as the average height of a common pant’s pocket;
- Mobile devices positioned on top and at the edge of a platform with previously described height; and
- Two different mobile devices – smartphones – used: Samsung Galaxy Note 2 and LG E977.

4.3. Data Pre-Processing

As previously described in Subsection 3.1, accelerometer sensor gets the values associated with three different vectors (X, Y and Z). These vectors are in charge to measure acceleration imposed at each of the axes using m/s^2 unit. Still, data collected by the previous step was obtained in the raw format, i.e., no pre-processing was applied. Still, to ease the training and classification process, these three axes acceleration were converted to a single value (A) that describes full acceleration applied to the device (first block of “Data Pre-Processing” phase on Figure 2). “A” value calculation, which is the absolute value of X, Y and Z variables, from accelerometer axes, can be given through the following equation: $A = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}$.

Figure 3 shows the behavior of each acceleration vector during a smartphone fall. It is possible to observe that “X, Y and Z” values were encoded inside the “A” line. Additionally, it is easy to note three generic phases during a fall: free fall; bouncing and stabilization. In fact, these three parts are used here by the classifiers as key points to characterize the surface where the devices hit. In the end, “A” value becomes constant and remains around gravity acceleration after smartphone stabilization.

Moreover, after conversion of “X, Y and Z” into “A”, data was organized in the format accepted by each classifier.

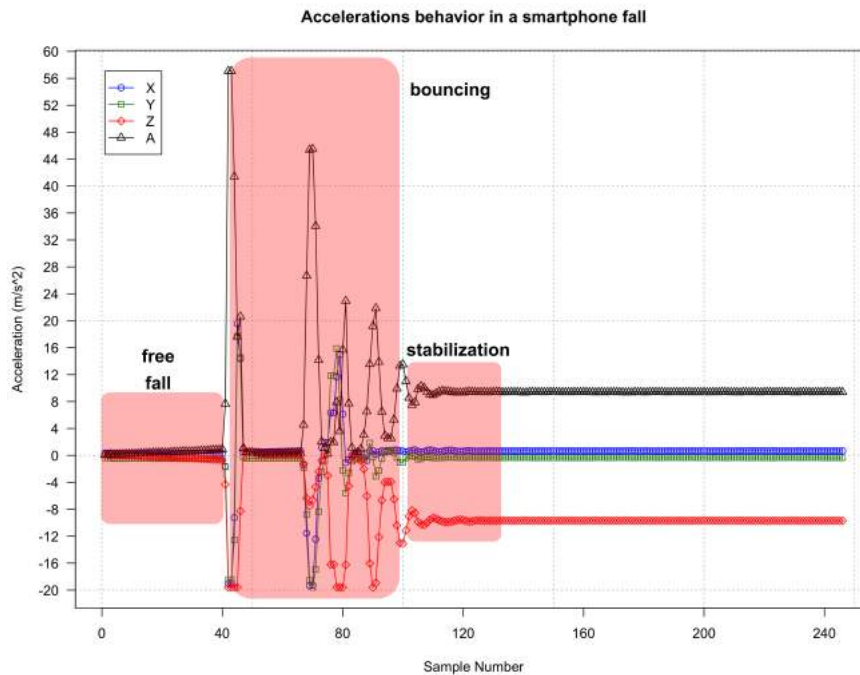


Figure 3. Behavior of each acceleration vector during a fall.

4.4. Training Process and Classification

Last development step is related to training and classification processes. To properly classify the input data, it must be organized concerning inner knowledge it can indirectly provide. Pre-processed information cannot be directly used by classifiers once it has a significant amount of data, requiring more time to train and classify. Instead, features should be extracted from the dataset to reduce their size and increase their representativeness.

As depicted by Figure 3, which presents the behavior of a fall in a pillow surface, it is possible to find three different phases: free fall, bouncing and stabilization. These three steps help to identify a type of surface where a device hits (the more the device bounces, the more smooth is the surface). This behavior allowed the authors to raise a set of 57 different features. Every one of these features was inferred considering the whole dataset and also specific information. The majority of them were calculated from simple statistical dispersion measures: mean, median, standard deviation, and so on, applied to the data obtained from the device fall, such as: the number of bounces, the highest bounce amplitude and the time until stabilization. Such characteristics played a major role helping classifiers to differentiate from a surface to another one. Most relevant features gathered from the dataset were:

- **Time Until Stabilization:** As the number of bumps varies according to the surface where device hits, time until stabilization will also change from surface-to-surface. Then, it was calculated and used as a feature for data classification;
- **Data Dispersion of Samples Until Stabilization:** A set of statistical dispersion values were calculated (mean, standard variation, variance, median, min value and max value) and used as features. Use of these values helps to describe the behavior of free fall and bounce phases data;

- **Data Dispersion of Fast Fourier Transform (FFT) and Signal Magnitude:** FFT was used to analyze the signal frequency domain. After that, the FFT spectrum magnitude was calculated and its statistical dispersion values used as another feature set. Figure 4 presents a graph describing a frequency domain of one of device falls;
- **Smoothness Rate:** Although it was already considered, this feature also treats maximum signal amplitude. The smoothness rate index is given by this value divided by the time (in number of samples) until device stabilization; and
- **Amplitude Histogram:** Here the amplitude spectrum was divided into several slots. As presented by Figure 5, each slot represents the number of samples found at each amplitude. It is valid to note that, the majority of samples are concentrated around the value of $9.8m/s^2$. This happens because most time the “A” value is susceptible only to the gravity acceleration.

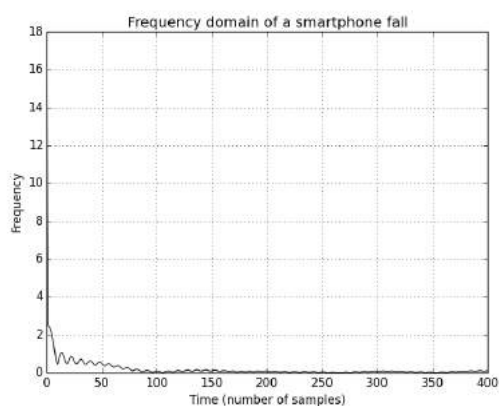


Figure 4. Smartphone fall frequency domain analysis using Fast Fourier Transform (FFT).

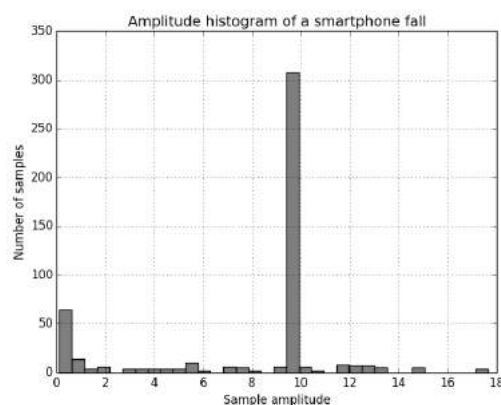


Figure 5. Smartphone fall histogram amplitude analysis.

In the end, every fall data was parsed to extract previously listed features. Nevertheless, the same approach was applied to “Training” and “Validation” sets of samples.

After “Features Extraction” step, training and classification phases proceeded to classifier configuration and input parameters grid search. Both steps are associated, once input parameters choice depends on which classifier configuration was chosen. For every configuration a grid search has been executed, initially with a wide search space and then, with a specific search trying to refine parameters input values.

This phase final step was the application of selected constraints on each classifier training and validation sets. Here, this cycle was also refined through the repetition of input parameters selection, grid search execution, training and validation until the best result was obtained.

5. Empirical Results

The previous section presented the steps taken by this work, from raw data collection to surface classification. This section will outline main results found by this research, considering that 200 data instances were collected (100 for training group and 100 for

validation group) from four different surfaces: sand, grass, towel extended on the ground and pillow.

One of the main challenges faced by this work was smartphone behavior during a fall. In related works, such as [Darbar and Samanta 2015][Cho et al. 2012] and [Weiss et al. 2006], the accelerometer sensor was statically positioned on top of considered surfaces. Here, a not so controlled environment was found. Accelerometer sensor inside the device has been continuously moving according to the fall trajectory. This behavior is particularly difficult to classify, once it may vary, or not, according to the position that smartphone touches the surface when falling. For instance, if the smartphone touches the ground with one of its edges, the trajectory thereafter may be totally different from a fall when the device touches the surface with its screen.

In addition to the features extracted from data (subsection 4.4), the classifiers were also trained and validated using raw data, i.e., with no type of features extracted. However, the results obtained using this approach were not as good as that one using extracted features. All the results presented here consider the multi-label classification approach, where an instance of a device fall was classified evaluating it against four possible surfaces. Moreover, extracted features have been used with the same weight. Bellow, it is described the main results as well as a comparison between different training approaches and classifiers configurations.

5.1. Logit Boost

Best result using Logit Boost classifier was found considering the following input parameters: **Likelihood threshold:** -1.798; and **Number of iterations:** 10. Table 1 presents the number of positive and negative recognition rate considering only “validation” set of instances.

Table 1. Classification results using Logit Boost.

	Sand		Grass		Towel		Pillow	
	Pos.	Neg.	Pos.	Neg.	Pos.	Neg.	Pos.	Neg.
Positive	70,0%	30,0%	82,0%	18,0%	66,0%	34,0%	68,0%	32,0%
Negative	9,7%	90,3%	17,0%	83,0%	7,7%	92,3%	3,7%	96,3%
Accuracy	0,853		0,828		0,858		0,893	
Precision	0,707		0,617		0,742		0,861	
Recall	0,700		0,820		0,660		0,680	
F-score	0,704		0,704		0,698		0,759	

5.2. Bagging

Best result using Bagging classifier was found considering the following input parameters: **Number of decimal places:** 2; and **Number of iterations:** 10. Table 2 presents the number of positive and negative recognition rate considering only “validation” set of instances.

5.3. Random Forest

Best result using “Random Forest” classifier was found considering the following input parameters: **Number of execution slots:** 1; and **Number of iterations:** 100. Table 3

Table 2. Classification results using Bagging.

	Sand		Grass		Towel		Pillow	
	Pos.	Neg.	Pos.	Neg.	Pos.	Neg.	Pos.	Neg.
Positive	73,0%	27,0%	80,0%	20,0%	62,0%	38,0%	73,0%	27,0%
Negative	11,7%	88,3%	12,3%	87,7%	8,0%	92,0%	5,3%	94,7%
Accuracy	0,845		0,858		0,845		0,893	
Precision	0,676		0,684		0,721		0,820	
Recall	0,730		0,800		0,620		0,730	
F-score	0,702		0,737		0,667		0,772	

presents the number of positive and negative recognition rate considering only “validation” set of instances.

Table 3. Classification results using Random Forest.

	Sand		Grass		Towel		Pillow	
	Pos.	Neg.	Pos.	Neg.	Pos.	Neg.	Pos.	Neg.
Positive	69,0%	31,0%	88,0%	12,0%	72,0%	28,0%	60,0%	40,0%
Negative	7,3%	92,7%	18,0%	82,0%	7,6%	92,4%	4,0%	96,0%
Accuracy	0,868		0,835		0,873		0,870	
Precision	0,758		0,619		0,758		0,834	
Recall	0,690		0,880		0,720		0,600	
F-score	0,723		0,727		0,738		0,698	

5.4. SVM with Radial Basis Function Kernel (RBF)

Best result using SVM RBF kernel was found considering the following input parameters: **SVM type (s)**: C-SVC; **Cost (c)**: 52.0; and **Gamma (γ)**: 0.00000765. Table 4 describes the number of positive and negative recognition rate considering only “validation” set of instances.

Table 4. Classification results using SVM RBF kernel.

	Sand		Grass		Towel		Pillow	
	Pos.	Neg.	Pos.	Neg.	Pos.	Neg.	Pos.	Neg.
Positive	76,0%	24,0%	79,0%	21,0%	62,0%	38,0%	59,0%	41,0%
Negative	13,7%	86,3%	15,7%	84,3%	4,3%	95,7%	7,7%	92,3%
Accuracy	0,837		0,830		0,872		0,840	
Precision	0,649		0,627		0,827		0,719	
Recall	0,760		0,790		0,620		0,590	
F-score	0,700		0,699		0,708		0,648	

5.5. SVM with Linear Kernel

Best result using SVM linear kernel was found considering the following input parameters: **SVM type (s)**: C-SVC; and **Cost (c)**: 0.055. Table 5 presents the number of positive and negative recognition rate considering only “validation” set of instances.

Table 5. Classification results using SVM linear kernel.

	Sand		Grass		Towel		Pillow	
	Pos.	Neg.	Pos.	Neg.	Pos.	Neg.	Pos.	Neg.
Positive	79,0%	21,0%	86,0%	14,0%	72,0%	28,0%	79,0%	21,0%
Negative	8,7%	91,3%	10,0%	90,0%	6,3%	93,7%	3,0%	97,0%
Accuracy	0,882		0,890		0,882		0,925	
Precision	0,752		0,741		0,791		0,898	
Recall	0,790		0,860		0,720		0,790	
F-score	0,771		0,796		0,754		0,840	

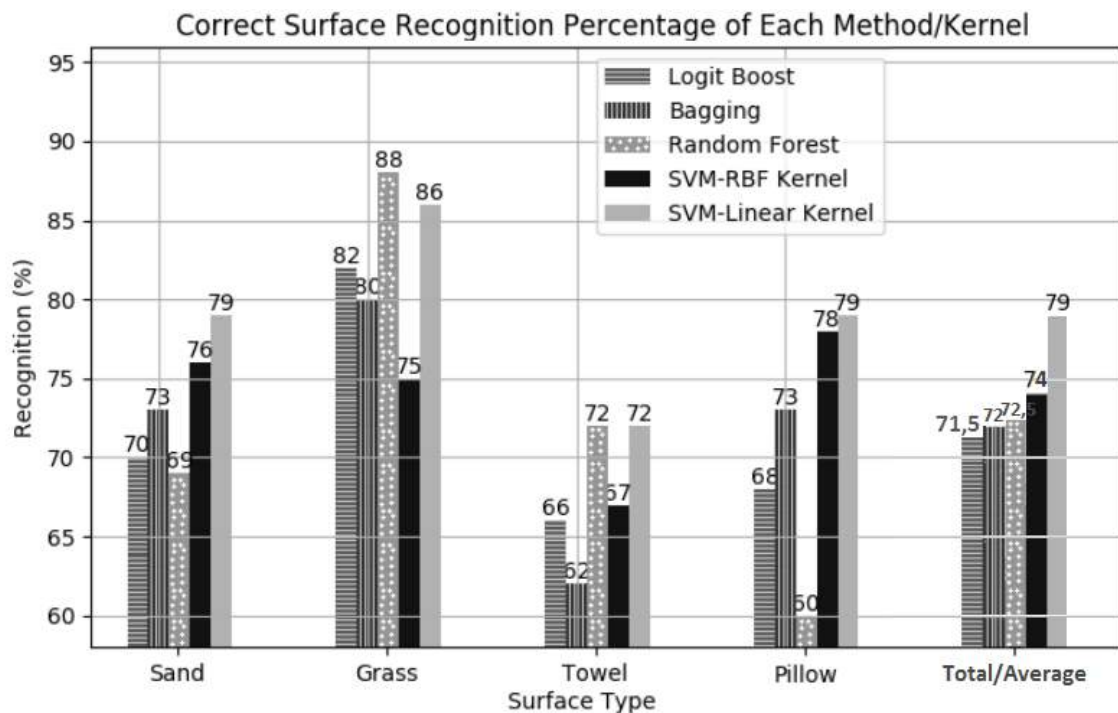
**Figure 6. Comparison between all the classifiers separated by surface types.**

Figure 6 presents a comparison between surface recognition rate of each class. It is easy to note that SVM with linear kernel had better results on average. Still, it also had an excellent performance on grass surface when compared to most results. Moreover, a general behavior can be seen when analyzing each surface separately. On grass, all the classifiers had an acceptable classification rate (true positives), a fact that might indicate that grass surface data might be easily differentiated from other surfaces. Conversely, the “towel extended on the ground” reached the lowest true positive rates, indicating that this surface is usually misclassified. The same behavior can be observed even on classifiers that had good rates on other surfaces, pointing out that the “towel on the ground” signal was classified as belonging to another surface.

When analyzing performance measures, it is possible to verify that results presented in Tables 1, 2, 3, 4 and 5 are endorsing measured true positive and false negative ratios. Given values of precision, accuracy and recall are high even when comparing SVM linear kernel with other classifiers. Furthermore, values found for F-score guarantees a

good precision/recall relation, indicating an acceptable data reliability level.

6. Conclusion and Future Works

Users are increasingly seeking for a way to protect their hardware. External cases and insurance plans are considered as ways to boost device protection. Despite their efficiency, these approaches do not provide a method to quantify the user care level with their hardware. For instance, a company may want to know if a lend smartphone is being handled with care by its employees.

Furthermore, several researches using mobile devices have been conducted today. Most of these studies are focused on energy efficiency or mobility aspects, with a segment emphasizing the users and their context, taking device sensors information as input. Inside this last class of researches, it is possible to find works that try to infer the surfaces where devices are placed, such as “VibePhone” [Cho et al. 2012] and “SurfaceSense” [Darbar and Samanta 2015].

The work presented here outlines an approach for classifying a smartphone fall as a way to monitor users care/careless level with their devices. As described by results, in some scenarios, we reached up to 88% recognition rate considering four different surfaces. Despite this value could initially be seen as low, it is necessary to take into account the whole environment where the user is inserted. Here, the main objective was to identify and categorize a repetitive user behavior that over time could result in a device damage or even a crash. Finally, in the case of this attitude becomes repetitive, a notification might be sent to the hardware owner, warning about user conduct.

As a way to increase system robustness, future works may enclose tests and validation of a broad range of devices, including new brands and screen sizes. Additionally, more surfaces can also be taken into account, trying to estimate user behavior dangerousness better.

Acknowledgment

The authors would like to thanks the iMobilis Laboratory, PROPP/UFOP and CNPq for the financial support and provided infrastructure.

References

- Boser, B. E., Guyon, I. M., and Vapnik, V. N. (1992). A training algorithm for optimal margin classifiers. In *Proceedings of the Fifth Annual Workshop on Computational Learning Theory, COLT '92*, pages 144–152, New York, NY, USA. ACM.
- Breiman, L. (1996). Bagging predictors. *Machine Learning*, 24(2):123–140.
- Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine Learning*, 45(1):5–32.
- Chang, C.-C. and Lin, C.-J. (2011). Libsvm: A library for support vector machines. *ACM Trans. Intell. Syst. Technol.*, 2(3):27:1–27:27.
- Cho, J., Hwang, I., and Oh, S. (2012). Vibration-based surface recognition for smartphones. In *Proceedings of the 2012 IEEE International Conference on Embedded and Real-Time Computing Systems and Applications, RTCSA '12*, pages 459–464, Washington, DC, USA. IEEE Computer Society.

- Darbar, R. and Samanta, D. (2015). Surfacesense: Smartphone can recognize where it is kept. In *Proceedings of the 7th International Conference on HCI, IndiaHCI 2015, IndiaHCI'15*, pages 39–46, New York, NY, USA. ACM.
- Friedman, J., Hastie, T., and Tibshirani, R. (1998). Additive logistic regression: a statistical view of boosting. Technical report, Stanford University.
- Hwang, S. and Wohn, K. (2013). Vibrotactor: Low-cost placement-aware technique using vibration echoes on mobile devices. In *Proceedings of the Companion Publication of the 2013 International Conference on Intelligent User Interfaces Companion, IUI '13 Companion*, pages 73–74, New York, NY, USA. ACM.
- Independent (2016). There are officially more mobile devices than people in the world. <http://www.independent.co.uk/life-style/gadgets-and-tech/news/there-are-officially-more-mobile-devices-than-people-in-the-world-9780518.html>. [Online: accessed 16-June-2016].
- Majumder, A. J. A., Rahman, F., Zerín, I., Ebel, Jr., W., and Ahamed, S. I. (2013). iprevention: Towards a novel real-time smartphone-based fall prevention system. In *Proceedings of the 28th Annual ACM Symposium on Applied Computing, SAC '13*, pages 513–518, New York, NY, USA. ACM.
- Mehner, S., Klauck, R., and Koenig, H. (2013). Location-independent fall detection with smartphone. In *Proceedings of the 6th International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments, PETRA '13*, pages 11:1–11:8, New York, NY, USA. ACM.
- Portal, S. T. S. (2014). Average number of connected devices used per person in selected countries in 2014. <http://www.statista.com/statistics/333861/connected-devices-per-person-in-selected-countries/>. [Online: accessed 16-June-2016].
- Sinapov, J., Sukhoy, V., Sahai, R., and Stoytchev, A. (2011). Vibrotactile recognition and categorization of surfaces by a humanoid robot. *IEEE Transactions on Robotics*, 27(3):488–497.
- Weiss, C., Frohlich, H., and Zell, A. (2006). Vibration-based terrain classification using support vector machines. In *2006 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pages 4429–4434.
- Windau, J. and Shen, W. M. (2010). An inertia-based surface identification system. In *Robotics and Automation (ICRA), 2010 IEEE International Conference on*, pages 2330–2335.

Videoaulas sobre computação por instrutores novatos: um estudo de caso com estúdio e com sala de aula na produção de vídeos interativos

¹Caio C. Viel, ¹Kamila R. H. Rodrigues, ¹Isabela Zaine

²Cesar A.C. Teixeira, ¹Maria da Graça C. Pimentel

¹ ICMC – Universidade de São Paulo
São Carlos – SP – Brazil

²DC – Universidade Federal de São Carlos
São Carlos – SP – Brazil

{caioviel@usp.br, isazaine@icmc.usp.br}

{kamila.rios@gmail.com, cesar@dc.ufscar.br, mgp@icmc.usp.br}

Resumo. São vários os esforços para tornar a computação acessível para todos. A disponibilização de material didático na forma textos e vídeos é um exemplo. Em particular, é comum a gravação de palestras e de apresentações com o objetivo de tornar o conteúdo correspondente disponível (como um documento de vídeo ou multimídia). Duas abordagens comumente utilizadas para capturar tais eventos são usar um estúdio ou instrumentar uma sala de aula convencional com câmeras e microfones para registrar a atividade no local. Neste artigo estudamos a influência que o uso desses dois ambientes pode ter no processo de gravação. Relatamos um estudo de caso com 27 participantes que registraram apresentações acadêmicas curtas nos dois cenários e também discutimos como o ambiente afetou o comportamento dos participantes. Entender tais influências contribui para a concepção de infraestruturas destinadas a apoiar novatos na criação de documentos multimídia interativos a partir de experiências ao vivo.

Abstract. There are several ways to make computing accessible to everyone, such as providing teaching material in text and videos formats. In particular, the recording lectures and talks with the aim of making the corresponding content available (as a video or multimedia document), is a common activity in many locations world-wide. Two common approaches used to recording such events are using a studio or instrumenting a conventional classroom with cameras and microphones so as to record the activity in-place. In this paper we study the influence that the use of these two environments may have in the recording process. We report on a case study with 27 participants which recorded short academic talks in the two scenarios and also discuss how the environment affected their behavior. Understanding such influences may inform the design of infrastructures aimed at supporting the authoring of interactive multimedia documents from live experiences.

1. Introdução

Entre os esforços existentes para tornar a computação acessível para todos está a disponibilização de material didático na forma textos e vídeos. A disponibilização na

forma de vídeos ou documentos web multimídia é uma atividade comum em muitos locais no mundo, e tem o potencial de oferecer educação de qualidade em qualquer horário e em qualquer lugar — tal como em centros geograficamente isolados.

No Brasil há, a princípio, um grande número pessoas capacitadas a gerar conteúdo, incluindo alunos de pós-graduação em computação. De acordo com os dados disponibilizados publicamente na Plataforma Sucupira¹ da CAPES, no quadriênio 2013-2016 mais de 2100 mestres e mais de 850 doutores foram formados considerando apenas os 13 principais programas de pós-graduação do país (com nível 5 ou superior na avaliação CAPES). Além disso, é grande a inclinação de indivíduos com formação de nível superior para realizar trabalho voluntário. Um levantamento, realizado² com 2024 entrevistados com idade igual ou superior a 16 anos em 135 municípios de todas as regiões do país, identificou que 50% dos indivíduos com formação de nível superior já realizou alguma atividade voluntária e que, desses, é importante destacar que quase 30% têm preferência por exercer atividade voluntária relacionada à sua formação ou ao seu trabalho. O estudo também identificou que “Falta de Tempo” é um motivo pelo qual 42% dos entrevistados que faziam alguma atividade teriam deixado de fazê-la, e também um motivo pelo qual 52% dos entrevistados declararam que nunca haviam realizado atividade voluntária.

Assim, como o Brasil possui pessoal qualificado e com inclinação para fazer trabalho voluntário, há potencial para aumentar a quantidade de material didático de qualidade para tornar a computação acessível para um número cada vez maior de pessoas. Entretanto, se faz necessário que o tempo utilizado na produção do conteúdo didático esteja de acordo com o tempo disponível por parte dos potenciais voluntários.

Apesar da visível utilidade na disponibilização de aulas e de palestras gravadas, produzir um vídeo de qualidade exige alto custo operacional. Para reduzir esses custos, muitas ferramentas que permitem a captura (semi) automática de aulas foram desenvolvidas para gravar aulas [Cunha et al. 2016, Damasceno et al. 2014, Halawa et al. 2011] e também outras apresentações [Jansen et al. 2015]. Há ainda ferramentas para apresentar [Viel et al. 2013] e anotar o conteúdo correspondente [Ferreira de Sousa et al. 2013, Martins and Pimentel 2014]. Essa abordagem explora o fato da própria sala de aula poder ser vista como um ambiente multimídia rico no qual a informação audiovisual é combinada com atividades de anotações [Abowd et al. 1999]. Além disso, o contexto da sala (por exemplo: o *slide* sendo apresentado, a fala do professor, o uso de recursos de linguagem verbal e corporal) e como os diferentes conteúdos audiovisuais se relacionam entre si, também são importantes.

Assim, duas abordagens comuns para produzir documentos baseados em vídeo a partir de palestras ou aulas são: o uso de um estúdio audiovisual (semi) profissional para gravar uma apresentação e a instrumentalização de uma sala de aula com câmeras e microfones, de modo que a captura possa ser feita naquele local enquanto o professor/instrutor ministra o conteúdo aos alunos/plateia. Tais abordagens têm seus prós e contras, por exemplo: uma aula ou palestra gravada em estúdio provavelmente terá melhor qualidade audiovisual, enquanto uma aula ou palestra gravada em sala de aula pode ser mais natural e promover a interação instrutor-aluno.

¹sucupira.capes.gov.br

²<https://www.fundacaoitaisocial.org.br/pt-br/pesquisa-opiniao-do-brasileiro-sobre-voluntariado>

Neste artigo é apresentado um estudo de caso em que são comparados os processos de gravação de documentos de aprendizagem baseados em vídeo quando capturados em sala de aula e quando capturados em estúdio. Usando a mesma ferramenta de software de gravação para ambos os ambientes, gravamos um total de 27 apresentações acadêmicas de curta duração. Na sequência, comparamos alguns aspectos sobre o vídeo resultante (um documento interativo multivídeo) e discutimos sobre a influência que o ambiente teve no que diz respeito ao comportamento dos professores e do próprio processo de gravação. A compreensão de tais influências deve esclarecer aspectos relacionados à concepção de sistemas destinados a apoiar a criação de documentos multimídia interativos a partir de experiências ao vivo, como o exemplo do compartilhamento de documentos e sistemas baseados em videoconferência [Denoue et al. 2014]. Além disso, a associação de ações do usuário pode ser importante não apenas para a posterior apresentação do documento e das interações correspondentes desse usuário, mas também para a posterior recuperação de informações importantes [Denoue et al. 2015].

O restante deste artigo está organizado da seguinte forma: a Seção 2 discute alternativas para disponibilização de aulas gravadas; a Seção 3 apresenta o ambiente e as ferramentas usadas no estudo de caso; a Seção 4 apresenta o estudo de caso; a Seção 5 discute alguns dos resultados e a Seção 6 apresenta as observações finais sobre o trabalho.

2. Videoaulas: motivação, disponibilização e gravação

2.1. Motivação

Resultados reportados na literatura têm observado que, além da importância dos cursos disponibilizados em plataformas com potencial de alcançar um grande público (*massive open online courses*: MOOCs), é também importante o material produzido com foco em audiências formadas por grupos pequenos de alunos (*small private online courses*: SPOCs), em particular para complementar o conteúdo apresentado em sala de aula [Fox 2013]. O interesse em produzir ou gravar palestras e aulas baseadas em vídeo pode ser explicado pelos diversos usos que esse tipo de material pode ter. Por exemplo, se faz necessária a disponibilização de vídeos associados a uma aula com antecedência quando se utiliza a abordagem de *flipped classroom* [Tucker 2012]. Outra utilidade está relacionada à possibilidade de alunos explorarem as gravações para fazerem trabalhos acadêmicos ou estudarem para uma prova. Ou ainda, para casos em que o aluno perdeu a aula e pode ter acesso ao conteúdo dado em sala assistindo às gravações disponibilizadas pelos professores. De maneira semelhante, um instrutor ou professor que ficará temporariamente ausente pode realizar a gravação de uma aula/palestra para ser posteriormente exibida aos alunos. Gravações anteriores também podem ser melhoradas e/ou reutilizadas e, uma palestra, ou partes dela, pode ser usada especificamente como um objeto de aprendizagem complementar em diferentes abordagens educacionais. É interessante observar que a gravação de aula por professores experientes tem sido utilizada como mecanismo de treinamento para instrutores iniciantes [Boling and Adams 2008, Estapa et al. 2016].

2.2. Disponibilização

Quaisquer interessados em disponibilizar vídeos, didáticos ou não, podem utilizar a plataforma Youtube, que recebe 30 milhões de usuários por dia e na qual mais de 300 horas de vídeo, da mais variada qualidade, são incluídas por minuto.³ É possível a qualquer

³<https://fortunelords.com/youtube-statistics>

usuário criar um canal e disponibilizar seus próprios vídeos: assim, voluntários podem criar um vídeo e disponibilizá-lo em seu próprio canal. A plataforma permite desde a transmissão de sessões ao vivo (*live streaming*) até o *upload* de vídeos gravados que podem ser manipulados com editores de vídeo e de áudio. Por meio dessa plataforma é possível fazer *upload* de vídeos convencionais (lineares) e, durante *playback*, algumas opções de interação são incluídas automaticamente (como visualização de quadros de linha do tempo, mudança de velocidade de reprodução e a inserção de legenda). A plataforma oferece opções avançadas, tais como o suporte a vídeos produzidos para imersão com recursos de realidade virtual.⁴ Além disso, recursos de anotação podem ser utilizados para produzir vídeos compostos por vários vídeos (multivídeos) correspondentes, por exemplo, a diferentes ângulos de uma mesma cena: usuários interativamente selecionam a cena (vídeo) que querem assistir em um dado momento. Esse recurso pode ser utilizado, por exemplo, para produzir vídeos com várias cenas apresentadas ao mesmo tempo em diferentes regiões da tela, ou para apresentar vídeos associados a roteiros com mais de uma alternativa de execução (hipervídeos).

Indivíduos vinculados a instituições associadas à Rede Nacional de Pesquisa⁵ (RNP) do país têm à disposição o serviço *Videoaula@RNP* que permite a elaboração, o armazenamento e a disponibilização de videoaulas com recursos interativos disponibilizados em HTML5. Essa plataforma suporta desde vídeos gravados em palestras ou sessões individuais, até a utilização de vídeos elaborados com apoio profissional de produção de vídeo. Em todos os casos é necessária, em uma etapa de produção, a associação do vídeo a um roteiro da aula ou palestra e a imagens (e.g. *slides*) correspondentes. A utilização de vídeos interativos é também suportada e recomendada: *slides* interativos podem estar associados a exercícios a serem resolvidos durante a sessão, por exemplo. Quando da preparação deste texto, um total de 910 aulas gravadas por docentes e profissionais especializados haviam sido disponibilizadas na plataforma. Estão disponibilizadas nessa plataforma, entre outras, as videoaulas do curso semipresencial de Tecnologia em Sistemas de Computação,⁶ da Fundação CECIERJ/Consórcio CEDERJ.

2.3. Gravação

Para disponibilizar uma aula em vídeo, é necessário antes de mais nada gravar o vídeo. Inúmeros programas e plataformas estão disponíveis para que um usuário faça ele mesmo a gravação de vídeo associado à captura do conteúdo apresentado na tela do seu computador e, opcionalmente, capture também a imagem obtida por uma *webcam* (muitas vezes a imagem do próprio usuário). Exemplos incluem Camtasia,⁷ Animoto,⁸ Mediavoo,⁹ entre outras. A plataforma *WordPress*, utilizada por muitos autores para disponibilizar conteúdo, recomenda atualmente a plataforma *Vidrack*.¹⁰ Existem ainda várias plataformas para produzir vídeos apoiados em animações, como o software PowToon.¹¹ Tais

⁴<https://youtube-eng.googleblog.com/2017/03/improving-vr-videos.html>

⁵<http://www.rnp.br>

⁶<http://www.cederj.edu.br/videoaulas/>

⁷<https://www.techsmith.com/camtasia.html>

⁸<https://animoto.com/>

⁹<https://mediavoo.com>

¹⁰<https://wordpress.org/plugins/video-capture/>

¹¹<https://www.powtoon.com>

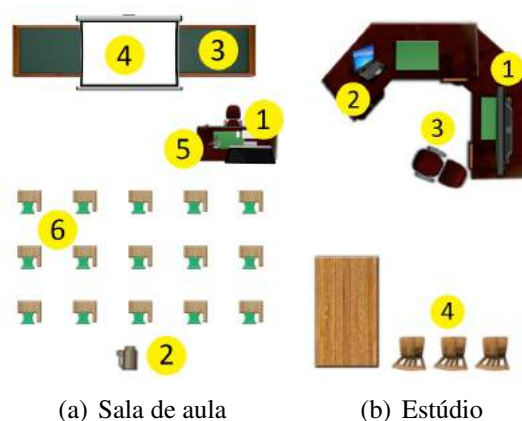


Figura 1. Disposições do ambiente de captura.

plataformas fazem uso de dispositivos que podem variar da câmera de um *notebook* ou computador pessoal, até um estúdio profissional.

Um número crescente de aulas e palestras baseadas em vídeo tem sido disponibilizado por meio de plataformas baseadas na Web. Em alguns casos, as videoaulas são geradas por meio da captura de uma apresentação ao vivo realizada para alunos em salas de aula tradicionais [Brotherton and Abowd 2004, Monserrat et al. 2014]. Em outros casos, o vídeo é capturado enquanto os instrutores apresentam sua aula em um estúdio sem audiência: exemplos desse formato incluem *Coursera* e *edX*, bem como outro trabalho anterior deste grupo [Viel et al. 2014]. Há ainda casos em que o vídeo é capturado enquanto os instrutores gravam remotamente suas apresentações em estúdio e essas gravações são difundidas aos alunos por meio de satélite [Brackett 1998, Wolff et al. 2002] ou infraestrutura de *webcasts* [Westwood et al. 2009]. É possível citar, por fim, a geração de palestras utilizadas em tutoriais por meio da captura e transmissão da tela do computador ou de uma lousa eletrônica, como é o caso da Khan Academy [Dijksman and Khan 2011], que oferece uma coleção de vídeos de matérias das áreas de matemática, física, biologia, entre outras áreas aplicadas.

Assim, observa-se que há recursos de custos variados para a gravação de material didático, custos financeiros e custos de demanda de tempo, entre outros. Neste contexto, é oportuno comparar os processos de gravação de material didático baseado em vídeo quando capturados em sala de aula e quando capturados em estúdio, como discutido nas próximas seções.

3. Ambientes de Captura

O estudo de caso apresentado neste artigo compara os processos de gravação de documentos de aprendizagem baseados em vídeo quando capturados em sala de aula e quando capturados em estúdio. O estúdio, a sala de aula e a ferramenta de gravação utilizados em tal estudo são descritos nas subseções a seguir.

3.1. Sala de aula

No estudo de caso foi usada uma sala de aula com 16 lugares. A Figura 1(a) ilustra a disposição e o layout da sala de aula: a ferramenta de gravação foi instalada em um computador (1); um projetor (2) estava disponível para apresentar o material em um quadro

branco (3) ou em uma tela (4) localizada à frente das cadeiras dos alunos (6); os instrutores podiam caminhar livremente, mas, para o estudo de caso, foi solicitado que os mesmos ficassem em uma área em que fosse possível enquadrá-los com a *webcam* (5) usada para gravar a apresentação.

A sala de aula é um ambiente que os professores estão acostumados. Por essa razão, eles podem se sentir mais confortáveis do que em um estúdio, resultando assim, em uma gravação mais natural. Uma vez que a sala de aula está sendo utilizada, pode-se realizar a gravação durante uma aula real desses professores. Isso pode reduzir os custos (aproveitando as atividades regulares dos professores) e pode incluir gravações da interação professor-alunos, que podem colaborar para a própria aula. Por outro lado, um problema ao utilizar a sala de aula é que, a menos que ferramentas automáticas sejam usadas, a equipe do audiovisual pode desviar a atenção dos professores. Além disso, uma vez que a sala não foi concebida para gravação, a iluminação da mesma ou o enquadramento do professor podem não ser os ideais. Pode haver ainda, a interferência de ruídos sonoros de outras salas de aula ou conversas paralelas entre os alunos.

3.2. Estúdio

Para os estudos relacionados a este trabalho, uma sala comum foi configurada como um estúdio de gravação. A Figura 1(b) ilustra uma representação esquemática do estúdio: uma TV (1) foi conectada a um *notebook* no qual a ferramenta de gravação foi instalada (2) e usada para mostrar os *slides*, vídeos ou outros conteúdos. O professor (3) podia permanecer em pé ou sentar-se ao lado da TV, podendo apontar para a mesma. A *webcam* do *notebook* era ajustada de acordo com a altura do apresentador, de forma a enquadrar tanto ele quanto a TV. Havia também três cadeiras (4) para uma pequena audiência. A TV e a *webcam* foram posicionadas de maneira a evitar problemas com brilho.

A principal vantagem do estúdio, apesar de simples, é que ele é planejado para gravações. O enquadramento da câmera é geralmente apropriado e, o uso de uma TV, em vez de um projetor, garante uma boa qualidade de apresentação. Além disso, esse cenário conta com isolamento acústico e iluminação adequada. Por outro lado, a desvantagem de usar um estúdio para gravar aulas e palestras é geralmente o seu custo. Além do custo do equipamento, há também custos operacionais com a equipe audiovisual, por exemplo. Além disso, alguns professores podem se sentir desconfortáveis em um estúdio.

3.3. Ferramenta de gravação

Em trabalhos anteriores apresentamos uma ferramenta para gravar palestras [Viel et al. 2014] que, quando implementada em uma sala de aula instrumentalizada, é capaz de gravar diferentes *streams* de áudio e vídeo, incluindo as apresentações de *slides*, as interações com o quadro branco e as imagens de duas câmeras apontadas para o professor/palestrante. A ferramenta gera como resultado do processo de captura, um documento NCL (*Nested Context Language*) multivídeo interativo que pode ser reproduzido em plataformas iTV e Web [Melo et al. 2012]. Embora essa ferramenta seja poderosa, requer que a sala seja instrumentalizada com câmeras, microfones, computadores e outros equipamentos. Em nossos estudos com a ferramenta anterior, foi possível observar que a maioria dos professores não utilizou parte das telas disponíveis. Em uma tentativa de simplificar a implantação da ferramenta e destacar o seu uso mais comum, nós a reprojeteamos considerando a experiência adquirida nos trabalhos anteriores. Para

oferecer uma versão com uma infraestrutura normalmente encontrada em salas de aula convencionais, desenvolvemos a ferramenta uPRESENTE, empregada no estudo de caso relatado neste artigo.

O uPRESENTE tem três módulos principais: gravação, processamento e apresentação. O módulo de gravação é uma aplicação desktop desenvolvida em Python para sistemas Windows e Unix. A aplicação permite a gravação de dois *streams* de vídeo e áudio ao mesmo tempo, um contendo o fluxo capturado por meio de uma *webcam* conectada ao computador e outro capturado da tela do computador. A aplicação permite ainda gravar toda a tela ou uma parte específica da mesma. O usuário pode selecionar qual entrada de áudio usar para gravar cada fluxo de vídeo (microfone acoplado ou externo, mix estéreo do sistema operacional, etc.). A interface tem um botão para iniciar o processo de gravação e outro para encerrá-lo. Durante a gravação, o usuário pode marcar momentos importantes com a anotação de palavras chave personalizadas. Essas anotações podem ser usadas posteriormente ao navegar pela videoaula gravada. O uPRESENTE não permite editar o vídeo gravado, portanto, se um instrutor deseja apagar alguma parte da gravação, ele precisa repetir a gravação. O módulo de gravação gera como saída uma estrutura de diretório com os *streams* de vídeos gravados e um arquivo JSON contendo metadados, entre eles, informações de autoria e a lista de momentos marcados com palavras chave. O módulo de processamento, por sua vez, é um serviço escrito em Python que pode ser executado em um servidor remoto ou localmente no mesmo computador que disponibiliza o módulo de gravação. Esse serviço codifica os *streams* de vídeo para h.264 e extrai informações contextuais dos *streams*. A partir da gravação de tela do computador, o serviço identifica as transições. Se a tela do computador contém uma apresentação de *slides*, o serviço identifica as transições de *slides* e os pontos de interesse, que são armazenados no arquivo JSON gerado pelo módulo de gravação. Por fim, o módulo de apresentação gera um documento HTML5 multivídeo. Esse módulo usa o arquivo JSON e os *streams* de vídeo gerados pelos módulos anteriores, de modo a fazer uma reconstituição baseada em HTML5 da palestra/aula.

As Figuras 2 e 3 retratam dois documentos interativos produzidos pelo módulo de apresentação. Os conteúdos apresentados na Figura 2 e na Figura 3 foram geradas, respectivamente, a partir de apresentações capturadas em sala de aula e em ambientes baseados em estúdio. Ambos os documentos apresentam a mesma estrutura: janelas (1) e (2) apresentam o vídeo capturado pela webcam ou o vídeo capturado da tela do computador; a janela (2) é interativa e, quando clicada pelo usuário, faz com que o conteúdo de (1) e (2) sejam intercalados. Ao clicar nas extremidades de (2), o usuário também pode posicionar a janela (2) em qualquer local da tela evitando a sobreposição de informações importantes na janela (1). Uma linha do tempo fica disponível na região (3) e, à esquerda, há controles de reprodução de vídeo. Uma lista de *slides* em miniaturas, e associados aos pontos de interesse extraídos, é mostrada em (4): cada miniatura é interativa e permite a navegação para o ponto correspondente no tempo de gravação do vídeo.

4. Estudo de Caso

Neste estudo de caso será analisado se o uso dos dois ambientes diferentes apresentados na seção anterior (sala de aula e estúdio) afetou a maneira como os professores novatos se comportaram durante a captura de uma aula direcionada a geração de um vídeo educacional. O estudo teve como foco principal a observação do comportamento dos usuários



Figura 2. Documentos HTML5 multivídeos resultantes.

“professores novatos” durante a gravação dos vídeos, principalmente no que diz respeito à opção de reiniciar a captura, geralmente após um erro durante a apresentação. Também estávamos interessados na experiência do usuário ao usar os dois ambientes de gravação.

Para coleta de dados e observação dos usuários, os voluntários foram convidados a gravar palestras curtas (15 minutos). O convite foi feito através de e-mail institucional e incluiu alunos de mestrado e doutorado em Ciência da Computação. Esses voluntários foram convidados a gravar uma pequena apresentação sobre o seu trabalho acadêmico. Eles foram informados de que as apresentações a serem capturadas e os documentos multivídeo gerados seriam disponibilizados, pouco tempo após a gravação, para alunos que se encontravam em um local geograficamente distante.

Um total de 27 voluntários gravaram suas apresentações. De acordo com a preferência dos voluntários, 10 deles utilizaram o ambiente da sala de aula e os demais, 17, utilizaram o ambiente do estúdio. Em todos os casos, a gravação foi feita utilizando a ferramenta uPRESENTE e contou com um suporte técnico para manipular a ferramenta e configurar o ambiente (por exemplo, posicionar a câmera e colocar o microfone). As apresentações foram planejadas para durarem em média 15 minutos e, todo o processo de preparar a sala e gravar a apresentação levava em média 30 minutos para cada voluntário participante. Em ambas as configurações, sala de aula ou estúdio, não foi imposto um tempo fixo para a conclusão da tarefa de gravação, mas foi sugerido que as apresentações preparadas deveriam ter entre 10 e 15 minutos.

A gravação usando o módulo de gravação da ferramenta foi conduzida por um técnico e o voluntário deveria esperar pela configuração da ferramenta antes de iniciar a sua fala. Em ambos os ambientes os participantes estavam na companhia de pelo menos uma pessoa, o técnico da ferramenta uPRESENTE. Em alguns casos havia outros indivíduos na sala. No entanto, esses indivíduos foram instruídos a não interagir com o palestrante. Em todos os casos os voluntários não estavam capturando suas apresentações enquanto ministravam uma aula real, então, não havia alunos reais assistindo às apresentações enquanto essas eram gravadas.

A Figura 4 resume os dados resultantes da gravação das palestras realizadas pelos 27 voluntários (Id) em termos de ambiente de gravação (sala de aula ou estúdio), duração, grau de formação dos voluntários (Estudante), número de pessoas na audiência (Público) e número de vezes que os voluntários pediram para reiniciar a apresentação porque tinham cometido alguma falha (Repetições). Esses dados são discutidos a seguir.

Id	Ambiente	Duração	Estudante ^a	Público ^b	Repetições ^c
1	sala de aula	00:40:33	Ph.D	2	0
2	sala de aula	00:07:18	Ph.D	2	1
3	sala de aula	00:11:23	Ph.D	6	0
4	sala de aula	00:12:08	MSc.	2	0
5	sala de aula	00:10:59	MSc.	5	0
6	sala de aula	00:07:38	Ph.D	5	0
7	sala de aula	00:13:12	Ph.D	7	0
8	sala de aula	00:21:59	MSc.	3	0
9	sala de aula	00:13:12	MSc.	3	0
10	sala de aula	00:19:45	Ph.D	1	0
11	estúdio	00:08:04	Ph.D	2	1
12	estúdio	00:09:37	MSc.	2	1
13	estúdio	00:08:56	Ph.D	1	0
14	estúdio	00:11:05	Ph.D	3	1
15	estúdio	00:12:50	MSc.	3	1
16	estúdio	00:13:19	MSc.	1	1
17	estúdio	00:13:23	MSc.	1	1
18	estúdio	00:13:55	Ph.D	1	1
19	estúdio	00:16:30	Ph.D	2	1
20	estúdio	00:13:16	Ph.D	2	2
21	estúdio	00:06:21	MSc.	1	0
22	estúdio	00:09:18	Ph.D	3	2
23	estúdio	00:11:54	MSc.	3	1
24	estúdio	00:14:30	MSc.	1	1
25	estúdio	00:14:44	Ph.D	2	2
26	estúdio	00:17:41	Ph.D	1	1
27	estúdio	00:12:54	Ph.D	1	0

^a: apresentador é um estudante de doutorado (Ph.D) ou mestrado (MSc.)
^b: tamanho da audiência
^c: número de vezes que a apresentação foi reiniciada

Figura 3. Resultados da Gravação.

5. Resultados e Discussão

Os dados coletados permitiram observar que no ambiente da sala de aula, o tempo médio de gravação dos vídeos tinham de cerca de 13 minutos, enquanto os vídeos gravados no estúdio tinham em torno de 15 minutos. Este comportamento era esperado, dada a duração sugerida para as apresentações. Na sala de aula apenas um voluntário solicitou ao técnico que reiniciasse a captura, enquanto no estúdio, 14 dos 17 voluntários fizeram tal solicitação. A diferença é estatisticamente significativa (teste exato de Fisher, $p < 0.05$).

É importante notar que esses dados não revelam que aqueles voluntários que usaram a sala de aula para a gravação não cometeram falhas, mas sim, que esses voluntários não viram a necessidade de reiniciar sua apresentação depois de terem cometido tal falha. Esse comportamento é esperado, uma vez que quando alguém está apresentando algo em uma sala de aula e diz algo errado, essa pessoa geralmente se desculpa, corrige a declaração e continua a apresentação.

Avaliávamos ainda se os voluntários mais experientes seriam mais afetados pelo uso de um ambiente do que no outro. Observou-se, no entanto, que não houve diferença estatisticamente significativa em relação ao número de vezes que a apresentação foi reiniciada (teste exato de Fisher, $p > 0.95$). Também foi possível observar que o tamanho da audiência não afetou (no nosso estudo de caso em específico) o número de vezes que o voluntário solicitou reiniciar a apresentação (Pearson R, $p > 0, 1$). É possível esperar, no entanto, algum impacto neste quesito quando considerada a existência de um público real na sala de aula.

Ao considerar o foco principal deste estudo, *comportamento dos voluntários durante a gravação de vídeo no que diz respeito à opção de reiniciar a gravação*, é possível

argumentar que o ambiente da sala de aula foi provavelmente percebido como uma experiência ao vivo, em que erros menores podem ser tolerados e corrigidos em tempo real. Por outro lado, o ambiente de estúdio provavelmente foi percebido como menos tolerante a erros e os voluntários se sentiram mais intimidados a corrigir tais erros e reiniciar a gravação.

Em virtude de estarmos interessados também na experiência do usuário ao usar os dois ambientes de gravação, coletamos (após a conclusão da sessão de gravação), de maneira informal e por meio de entrevistas semiestruturadas, alguns comentários dos voluntários acerca de tal experiência. Alguns dos voluntários que usaram o ambiente de estúdio relataram que o ambiente não era familiar e, após cometer uma falha qualquer, eles ficaram confusos e tiveram que reorganizar suas ideias, por isso pediram que a gravação fosse reiniciada. Além disso, um dos participantes relatou: *"O estúdio de gravação me deixa pouco confortável por causa do ambiente muito restrito e com dispositivos ao redor."* Essas observações ilustram a influência que o ambiente pouco familiar teve nos voluntários.

Dado que em ambos os cenários os voluntários não interagiram diretamente com a ferramenta de gravação, o número de falhas no estúdio pode sugerir que é mais difícil para os usuários se concentrarem na atividade (gravar uma videoaula, apresentação ou palestra) nesse ambiente. Assim, é possível sugerir que o ambiente baseado em sala de aula oferece experiência mais positiva, ou familiar, para o instrutor. Essa experiência positiva também pode estar relacionada ao fato de que esse é o ambiente com o qual esses voluntários tinham mais experiência.

Embora a influência sobre a qualidade das gravações não tenha sido um objetivo direto do estudo de caso, os documentos gerados utilizando a abordagem baseada em estúdio foram, conforme o esperado, superiores no que diz respeito à qualidade audiovisual. O enquadramento do apresentador e dos *slides* foi melhor do que na sala de aula. O uso da TV proporcionou uma projeção melhor dos *slides* e a iluminação foi mais apropriada do que na sala de aula.

6. Conclusão

Cada uma das duas abordagens comumente utilizadas na captura de aulas e similares, estúdio ou sala de aula instrumentada, tem seus prós e contras relacionados, entre outros, à qualidade do registro produzido e ao custo de produção do mesmo.

Neste artigo reportamos observações relacionadas ao uso de exemplares desses dois ambientes por instrutores novatos. Relatamos um estudo de caso com 27 participantes que participaram da gravação de apresentações acadêmicas curtas nos dois cenários e discutimos qual ambiente afetou o comportamento dos participantes. Entender tais influências contribui para a concepção de infraestruturas destinadas a apoiar novatos na criação de documentos multimídia interativos a partir de experiências ao vivo.

Os vídeos reportados no estudo de caso foram produzidos por discentes de um programa de pós-graduação. Esses discentes responderam a uma chamada por voluntários que foram solicitados a gravar um vídeo curto sobre a sua própria pesquisa. Na chamada, os destinatários foram informados de que as apresentações seriam disponibilizadas para alunos que se encontravam em um local geograficamente distante. A organização deste

trabalho ficou muito satisfeita com a adesão dos voluntários: além dos 27 alunos de pós-graduação cujo trabalho foi reportado neste estudo de caso, vários outros discentes gravaram seus próprios vídeos – inclusive alunos que se encontravam afastados para estágio no exterior. Além de discentes, vários docentes também gravaram vídeos utilizando uma das duas alternativas reportadas no estudo de caso.

O convite não informava, a priori, o local onde seriam realizadas as gravações. Os apresentadores poderiam escolher um entre os períodos reservados para a gravação. Dependendo do horário escolhido, a gravação seria realizada na sala de aula ou no estúdio, a depender da disponibilidade dos ambientes.

Ressalta-se, diante deste contexto, que o Brasil apresenta potencial para aumentar a quantidade de material didático de qualidade visando tornar a computação acessível para um número cada vez maior de pessoas, já que é sabido que o país possui pessoal qualificado e que há um grande número de indivíduos com inclinação para realizar trabalho voluntário. Entretanto, se faz necessário que o tempo utilizado na produção do conteúdo didático esteja de acordo com o tempo disponível por parte dos potenciais voluntários. Neste sentido, é importante o incentivo e a disseminação de ferramentas que viabilizem não só a gravação dos conteúdos, como também a disponibilização dos mesmos. Também é importante que tais ferramentas tenham interfaces intuitivas, com funcionalidades efetivas e que facilitem a tarefa de gravação, edição e disponibilização dos conteúdos.

7. Agradecimentos

Agradecemos aos voluntários pela colaboração nos estudos de caso. Agradecemos ainda à CAPES, ao CNPQ e à FAPESP pelo apoio financeiro.

Referências

- Abowd, G., da Graça Pimentel, M., Kerimbaev, B., Ishiguro, Y., and Guzdial, M. (1999). Anchoring discussions in lecture: an approach to collaboratively extending classroom digital media. In *Proc. CSCL '99*.
- Boling, E. and Adams, S. S. (2008). Supporting teacher educators' use of hypermedia video-based programs. *English Education*, 40(4):314–339.
- Brackett, J. W. (1998). Satellite-based distance learning using digital video and the internet. *IEEE Multimedia*, 5(3):72–76.
- Brotherton, J. A. and Abowd, G. D. (2004). Lessons learned from eclass: Assessing automated capture and access in the classroom. *ACM Trans. Comput.-Hum. Interact.*, 11(2):121–155.
- Cunha, B. C., Uscamayta, A. O. M., and Pimentel, M. d. G. C. (2016). Opportunistic recording of live experiences using multiple mobile devices. In *Proceedings of the 22Nd Brazilian Symposium on Multimedia and the Web, Webmedia '16*, pages 99–102, New York, NY, USA. ACM.
- Damasceno, A. L., Galabo, R. J., and Soares Neto, C. S. (2014). Cacuriá: Authoring tool for multimedia learning objects. In *Proceedings of the 20th Brazilian Symposium on Multimedia and the Web, WebMedia '14*, pages 59–66, New York, NY, USA. ACM.
- Denoue, L., Carter, S., and Cooper, M. (2015). "Searching Live Meeting Documents "Show Me the Action". In *Proc. ACM DocEng '15*, pages 195–198.

- Denoue, L., Carter, S., Girgensohn, A., and Cooper, M. (2014). Building digital project rooms for web meetings. In *Proc. ACM DocEng '14*, pages 135–138.
- Dijksman, J. A. and Khan, S. (2011). Khan academy: the world's free virtual school. *Bulletin of the American Physical Society*, 56.
- Estapa, A., Pinnow, R. J., and Chval, K. B. (2016). Video as a professional development tool to support novice teachers as they learn to teach english language learners. *The New Educator*, 12(1):85–104.
- Ferreira de Sousa, S. W., Bezerra, E. P. B., Soares, I. M. S., and Brennand, E. G. a. d. G. B. (2013). Marker: A tool for building interactive applications for t-learning. In *Proceedings of the 19th Brazilian Symposium on Multimedia and the Web, WebMedia '13*, pages 281–284, New York, NY, USA. ACM.
- Fox, A. (2013). From moocs to spocs. *Commun. ACM*, 56(12):38–40.
- Halawa, S., Pang, D., Cheung, N.-M., and Girod, B. (2011). Classx: an open source interactive lecture streamingsystem. In *Proc. ACM MM '11*, pages 719–722.
- Jansen, J., Frantzis, M., and Cesar, P. (2015). Multimedia document structure for distributed theatre. In *Proceedings of the 2015 ACM Symposium on Document Engineering, DocEng '15*, pages 199–202, New York, NY, USA. ACM.
- Martins, D. S. and Pimentel, M. d. G. C. (2014). Activetimesheets: Extending web-based multimedia documents with dynamic modification and reuse features. In *Proceedings of the 2014 ACM Symposium on Document Engineering, DocEng '14*, pages 3–12, New York, NY, USA. ACM.
- Melo, E. L., Viel, C. C., Teixeira, C. A. C., Rondon, A. C., Silva, D. d. P., Rodrigues, D. G., and Silva, E. C. (2012). WebNCL: a web-based presentation machine for multimedia documents. In *Proc. WebMedia '12*, pages 403–410.
- Monserrat, T.-J. K. P., Li, Y., Zhao, S., and Cao, X. (2014). Live: An integrated interactive video-based learning environment. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '14*, pages 3399–3402, New York, NY, USA. ACM.
- Tucker, B. (2012). The flipped classroom. *Education next*, 12(1).
- Viel, C. C., Melo, E. L., Pimentel, M. d. G., and Teixeira, C. A. (2013). Multimedia multi-device educational presentations preserved as interactive multi-video objects. In *Proceedings of the 19th Brazilian Symposium on Multimedia and the Web, WebMedia '13*, pages 51–58, New York, NY, USA. ACM.
- Viel, C. C., Rodrigues, K., Melo, E. L., Bueno, R., Pimentel, M. d. G. C., and Teixeira, C. A. C. (2014). Interaction with a problem solving multi video lecture: Observing students from distance and traditional learning courses. *Intl. Journal of Emerging Technologies in Learning*, 9(1).
- Westwood, M. A., Flett, A. S., Riding, P., and Moon, J. C. (2009). How to webcast lectures and conferences. *BMJ*, 338.
- Wolff, L., de Moura Castro, C., Navarro, J. C., and García, N. (2002). Television for secondary education: Experience of Mexico and Brazil. *Technologies for education: Potentials, parameters, and prospects*, pages 144–152.